

Fra: Gudveig Nordahl[gudveig.nordahl@drammenhavn.no]

Sendt: 4. jun 2020 15:27:04

Til: Postmottak FMOV

Kopi: Einar Olsen; Ivar Vannebo; Jarle Hansen; Audun Oddvar Veiby; Vibeke Skavold; Stig Møllersen; 'Hanne Vidgren'

Tittel: Drammen havn - gbnr 113/602 - TEK20-02 Utfylling Holmen øst, trinn 3 - Søknad om utfylling i sjø Del 2 (4)

---

Del 2 (4)

Klima og miljøvernavdelingen

Vedlagt følger TEK20-02 Utfylling Holmen øst, trinn 3 - søknad om utfylling i sjø (trinn3) i forbindelse med utvidelse av havneområdene på Holmen i Drammen (gbnr 113/602).

Søknaden gjelder utfylling av områder øst for trinn 2 (ref. 2020.0047.T).

Pga. av store vedlegg, er forsendelsen delt i 4 eposter.

Med vennlig hilsen



Gudveig C. Bellen Nordahl

HMS-leder

Drammen havn

Mob: +47 95 90 14 18

[www.drammenhavn.no](http://www.drammenhavn.no)



Please consider the environment before printing this e-mail.



---

RAPPORT

# Områderegulering for Holmen

## Flom og flodbølge, havnivåstigning, stormflo og strømning

---

OPDRAGSGIVER

Drammen Havn

EMNE

Flom og flodbølge, havnivåstigning, stormflo og strømning

DATO / REVISJON: 21. oktober 2016 / 04

DOKUMENTKODE: 814203 -RiVass-RAP-002

---



Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Tredjepart har ikke rett til å anvende rapporten eller deler av denne uten Multiconsults skriftlige samtykke.

Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

## RAPPORT

OPPDRAG	<b>Områderegulering for Holmen</b>	DOKUMENTKODE	814203 -RiVass-RAP-001
EMNE	<b>Flom og flodbølge, havnivåstigning, stormflo og strømning</b>	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAGSGIVER	<b>Drammen Havn</b>	OPPDRAGSLEDER	Arnfinn Schjølberg
KONTAKTPERSON	Jarle Hansen	UTARBEIDET AV	Jean-Pierre Bramslev
KOORDINATER	SONE: XXX ØST: XXXX NORD: XXXXXX	ANSVARLIG ENHET	1087 Oslo Hydrologi
GNR./BNR./SNR.	X / X / X / Drammen		

REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV
4	21/10/16	Revisjon ihht kommentarer på workshop 14/09-16.	JPB	CT	CT
3	08/09/16	Ny revisjon m geotekniske vurderinger av rasfare	JPB, GV	CT	CT
2	30/06/16	Revidert versjon	JPB, NA	OYP	CT
1	20/04/16	Første versjon.	JPB, FIG	AGB, OYP	-

---

## SAMMENDRAG

Multiconsult har undersøkt utfyllingens konsekvenser for strømningsforholdene omkring Holmen. Verktøyet for denne undersøkelsen har vært en 2-dimensjonal simuleringsmodell (mike21) basert på topografiske data for elve- og fjordbunn samt data for elvevannføring og fjordvannstandens variasjon. Hovedresultatene er sammenfattet her under:

- Den største økningen av strømfart skjer i den nåværende elvemunningen, som vil lukkes inne i Strømsløpets forlengelse. Økningen ligger typisk rundt 0,1 m/s (max. 0,2 m/s midt i løpet der hastighetene er størst).
- I kontrollpunktene i fjorden i større avstand fra Holmen påvises det stort sett kun ubetydelige endringer av strømningsmønsteret.
- På støttetfyllingen, øst for den kommende utfyllingen, er det en tydelig endring av strømmingens fart og retning, men ikke dramatisk og endringen vurderes å være uproblematisk.
- Basert for beregnet strømfart og påviste kornstørrelser konkluderes at erosjonen ikke kan bli så omfattende at den undergraver elvebredden i tilstrekkelig omfang til i seg selv å utløse noen utglidninger i strandsonen. Etter en tids graving vil elvevannet vaske fram en naturlig «erosjonsbeskyttelse» av mellomgrov sand. Ingen av prøveseriene som er tatt opp i elvebunnen viser svært dårlige grunnforhold eller kvikkleire. De foreliggende data utelukker at det kan oppstå store ras.
- En moderat omforming av fyllingens sørlige avgrensning vil ha en gunstig effekt med hensyn til å redusere strømfarten nær områdene med størst økning.
- Usikkerheten mht. hvor langt saltvannskilen i Drammenselva presses ut under flom gjør at det er vanskelig å avgjøre hvilken av de to simuleringene (dybdeintegrert eller ferskvannslaget isolert) som er mest realistisk under flom, særlig i elvemunningen. Ferskvannssimuleringen er tillagt størst vekt i analysen, ut fra en «føre var» betraktning; denne gir større strømfart pga mindre strømningsareal.
- Den nåværende sonen med sedimentasjon vil i en overgangsperiode kunne resuspenderes pga. økt strømfart og sedimenteres utenfor den kommende elvemunningen. Utfyllingen vil altså på lengre sikt flytte sedimenteringsområdet lengre ut mot fjorden enn det er i dag
- På basis av eksisterende kjennskap til forurensede sedimenter i det påvirkede området, vurderes utfyllingen å være av liten betydning for miljøtilstanden av Indre Drammensfjord.
- Vurderingen av flom, flodbølge og havnivåstigning konkluderer med at statistisk 200-års vannstand er NN2000 291 cm, mens kortvarige bølgesprut kan komme opp i ca. NN2000 600 cm.

## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Metodikk</b> .....	<b>10</b>
2.1	Verktøy .....	10
2.2	Forutsetninger og begrensninger .....	10
2.3	Datakilder .....	10
2.4	Valgte simuleringsscenarioer .....	10
<b>3</b>	<b>Bekrivelse av nåværende strømningsforhold</b> .....	<b>13</b>
3.1	Vannføring Q = 300 m <sup>3</sup> /s i Drammenelva. ....	13
3.2	Vannføring Q = 1000 m <sup>3</sup> /s i Drammenelva. ....	17
<b>4</b>	<b>Planforslaget</b> .....	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>Strømningsmessige konsekvenser</b> .....	<b>21</b>
5.1	Konsekvenser i modellområdet generelt .....	21
5.2	Konsekvenser representert ved kontrollpunkter i åpen fjord. ....	24
<b>6</b>	<b>Simulering av ferskvannslaget</b> .....	<b>25</b>
6.1	Konsekvenser – geografisk utbredelse .....	25
6.2	Konsekvenser - kontrollpunkter i fjord .....	29
6.3	Konsekvenser - kontrollpunkter på støttefylling.....	31
6.4	Konsekvenser i forhold til rasfare på bredder. ....	33
<b>7</b>	<b>Avbøtende tiltak</b> .....	<b>35</b>
<b>8</b>	<b>Geotekniske undersøkelser i Strømsløpet</b> .....	<b>38</b>
8.1	Erosjon av løsmasser i elva .....	38
8.2	Stabilitet av elvebreddene .....	40
<b>9</b>	<b>Diskusjon</b> .....	<b>41</b>
9.1	Sammenligning med tidligere studier .....	41
9.2	Syntese.....	41
9.3	Konsekvenser mht sedimentasjon .....	42
9.4	Anleggsfasen .....	43
9.5	Mer detaljerte undersøkelser .....	43
9.6	Strømmålinger .....	43
<b>10</b>	<b>Forurensede sedimenter</b> .....	<b>44</b>
<b>11</b>	<b>Andre temaer; flom, flodbølge og havnivåstigning</b> .....	<b>47</b>
11.1	Estimater for landheving og havnivåstigning .....	47
11.2	Flodbølge i Drammensfjorden pga. ras .....	47
11.3	Flom i Drammenselva .....	47
11.4	Samlet påvirkning .....	48
11.5	Beregning av bølgepåvirkning .....	48
11.6	Konklusjon .....	49
<b>12</b>	<b>Konklusjon</b> .....	<b>50</b>
<b>VEDLEGG 1</b>	<b>Utdrag fra tidligere undersøkelser</b> .....	<b>51</b>
<b>VEDLEGG 2</b>	<b>Tidsserier av strøm og retning</b> .....	<b>54</b>
<b>VEDLEGG 3</b>	<b>Korrelasjon av strøm / retning (dagens situasjon)</b> .....	<b>57</b>
<b>VEDLEGG 4</b>	<b>Korrelasjon av strøm / retning. Sammenligning av Utfylling med dagens situasjon</b> .....	<b>59</b>
<b>VEDLEGG 5</b>	<b>Utdrag fra Skrednett.no</b> .....	<b>62</b>
<b>VEDLEGG 6</b>	<b>Data fra grunnundersøkelser Kystfartsverket, Multiconsults oppdrag 814617</b> .....	<b>63</b>

Figur 2-1 Observert vannstand 2012 ved Drammen (Kilde: Drammen Havn, ref /3/).

Figur 2-2 Batymetri (bunntopografi). Dagens situasjon.

Figur 3-1 Kontrollpunkter 1-6 fordelt i fjorden.

Figur 3-2 Øyeblikksbilde av strømningsmønsteret. Q=300 m<sup>3</sup>/s i Drammenselva, dybdemidlet. Pilene viser strømningsretning og pilens lengde viser strømfart. Strømfarten avspeiles også av fargene.

Figur 3-3 Som over, her zoomet inn på Drammenelvas utløp. Dybdemidlet.

- Figur 3-4 Middelstrømfart,  $Q=300$  m<sup>3</sup>/s i Drammenselva (januar). Dybdemidlet. Det lille bildet viser tilsvarende resultat for desember. Forskjellen er marginal.
- Figur 3-5 Midlere strømrøtning,  $Q=300$  m<sup>3</sup>/s i Drammenselva (januar). Dybdemidlet.
- Figur 3-6 Middelstrømfart,  $Q=1000$  m<sup>3</sup>/s i Drammenselva (januar). Dybdemidlet.
- Figur 3-7 Midlere strømrøtning,  $Q=1000$  m<sup>3</sup>/s i Drammenselva (januar). Dybdemidlet.
- Figur 4-1 Batymetri (bunntopografi) etter utfylling. Dybder ift. sjøkartnull.
- Figur 4-2 Endring av batymetri ift nåværende, dvs. heving av fjordbunn.
- Figur 5-1 Strømfart etter utfylling (middelverdi over 9 døgn).  $Q=300$  m<sup>3</sup>/s. Nederst endring i strømfart i forhold til dagens situasjon. Dybdemidlet.
- Figur 5-2 Strømfart etter utfylling (middelverdi over 2 døgn).  $Q=1000$  m<sup>3</sup>/s. Nederst endring i strømfart i forhold til dagens situasjon. Dybdemidlet.
- Figur 6-1 Øverst: Strømfart før utfylling,  $Q=300$  m<sup>3</sup>/s (simulering av ferskvannslaget). Nederst: Økning av strømfart ift dagens situasjon.
- Figur 6-2 Øverst: Strømfart før utfylling,  $Q=1000$  m<sup>3</sup>/s (simulering av ferskvannslaget). Nederst: Økning av strømfart ift dagens situasjon.
- Figur 6-3 Strømfart og –retning i seks kontrollpunkter i fjorden,  $Q=1000$  m<sup>3</sup>/s (simulering av ferskvannslaget) Øverst: dagens situasjon Nederst: Etter utfylling.
- Figur 6-4 Strømfart og –retning i 5 kontrollpunkter på fyllingen,  $Q=1000$  m<sup>3</sup>/s (simulering av ferskvannslaget) Øverst: dagens situasjon Nederst: Etter utfylling.
- Figur 6-5 Detaljert bilde av strømfart nær Tangen. Tidligere rassted vist med pil. Øverst: dagens situasjon. Nederst: etter utfylling.
- Figur 6-6 Detaljert bilde av økning av strømfart etter utfylling. Tidligere rassted vist med pil.
- Figur 7-1 Avbøtende tiltak A og B: alternative utforminger av fyllingen.
- Figur 7-2 Økning i strømfart etter utfylling MED avbøtende tiltak. Øverst alternativ fylling A. Nederst alternativ fylling B.
- Figur 9-1 Strømfart og retning i 6 kontrollpunkter i fjorden. Dagens situasjon. Simulering for ferskvannslaget.
- Figur 10-1 Rød sirkel viser et område i Bragernesløpet hvor det muligens blir økt erosjon ved videre utfylling på Holmen.
- Figur 10-2 Rød sirkel viser et delområde i Strømsøløpet hvor det muligens blir økt erosjon ved videre utfylling på Holmen.
- Figur V2-0-1 Tidsserieplot av strømfart i 6 utvalgte punkter i fjorden.  $Q=300$  m<sup>3</sup>/s.
- Figur V2-0-2 Tidsserieplot av strømningsretning i 6 utvalgte punkter i fjorden.  $Q=300$  m<sup>3</sup>/s.
- Figur V2-0-3 Tidsserieplot av strømfart i 6 utvalgte punkter i fjorden.  $Q=1000$  m<sup>3</sup>/s.
- Figur V2-0-4 Tidsserieplot av strømningsretning i 6 utvalgte punkter i fjorden.  $Q=1000$  m<sup>3</sup>/s.
- Figur V3-0-1 Strømfart som funksjon av strømrøtning, 0-alternativet. Øverst:  $Q=300$  m<sup>3</sup>/s, nederst  $Q=1000$  m<sup>3</sup>/s. Bemerk forskjellen i y-aksen (4 ganger større for  $Q=1000$  m<sup>3</sup>/s)
- Figur V4-0-1 Strømfart og –retning i seks kontrollpunkter i fjorden.  $Q=300$  m<sup>3</sup>/s Øverst: dagens situasjon, nederst: Etter utfylling.
- Figur V4-0-2 Strømfart og –retning i seks kontrollpunkter i fjorden.  $Q=1000$  m<sup>3</sup>/s Øverst: dagens situasjon, nederst: Etter utfylling. Bemerk at y-aksen omfatter et større intervall enn forrige figur (ca. 4 ganger større).

## Referanser

1. NVE, *Flomberegning for Drammenselva*. Turid-Anne Drageset. 2001-8.
2. NVE. *Flomberegning for Lierelva*. Thomas Væringstad. 2007-8
3. Vannstandsdata på Drammen Havns hjemmeside: <http://drammenhavn.no/index.php/web2015/vaeret>
4. Multiconsult AS: *Idéfase nytt sykehus Vestre Viken*. Utarbeidet for Hospitalitetet for Vestre Viken HF. Mars 2014
5. DNV/NGI. *Miljøovervåling av Indre Drammensfjord, Årsrapport 2010*. Utarbeidet for Fylkesmannen i Buskerud. 2011,
6. NGI: *Miljøovervåking Indre Drammensfjord. Sluttrapport fra overvåking av Drammensfjorden 2008-2011*. Mars 2012.
7. *Estimater av framtidig havnivåstigning i norske kystkommuner*. DSB, 2009.
8. *Håndtering av havnivåstigning i kommunal planlegging*. DSB, 2011.
9. NVE. *Flomsonekart, Delprosjekt Drammen*. Siri Stokseth, Jostein Svegården. 2005-2
10. *Bølgepåvirkning på Brakerøya, Nytt Vestre Viken sykehus*. Multiconsult, 07/2015.
11. NGU: *Undersjøiske landformer og skredprosesser langs strandsonen i Drammensfjorden*. April 2011.



12. Drammen Kommune:

<https://www.drammen.kommune.no/Global/Enhetenes%20egne%20bilder/Kart%20og%20geodata%20bilder/Isolinjekart.jpg>

## 1 Innledning

Denne rapporten tar for seg ulike problemstillinger knyttet til vannforekomsten rundt Holmen, dvs. nedre Drammenselv og Drammensfjorden. Utredningen av strømningsmessige konsekvenser er den mest komplekse delen og er behandlet mest detaljert og følgelig fyller behandlingen av dette emnet det meste av rapporten, mens de øvrige spørsmålene er behandlet i avsnitt 9 og 10.

Det mest fremtredende del-formålet med utredningen er altså de strømningsmessige konsekvensene av Holmen-utfyllingen. Det er kun tatt i betraktning den siste og endelige etappen i utbygningen, dvs. den mest vidtgående utfyllingen, selv om det kan ta mange år før denne er aktuell.

Bakgrunnen for at det er stor fokus på strømningsmessige konsekvenser er primært at fjordavsnittet rett utenfor Holmen er av stor betydning for fisk. Dessuten har det forekommet en del tilfeller av ras nær elve/fjordbredden, slik at det har interesse om en evt. forandring av strømforholdene kan påvirke faren for ytterligere ras.

Under siteres fra Planprogrammet:

### «2.5.3 Flom og flodbølge, havnivåstigning og stormflo

#### *Definisjon av utredningstemaet:*

Temaet flom og flodbølger, og faren for at planområdet blir oversvømt ved slike hendelser. Dagens strømminger i Drammenselva må sees på ved utfylling av Holmen.

#### *Begrunnelse for utredningen og utfordringer:*

Størstedelen av tomteområdet ligger i dag rundt 2 meter over normalvannstanden i Drammensfjorden. Noe av området ligger så lavt at det er flomutsatt ved store flommer, ekstrem springflo og flodbølge. Dagens maksimale stormflo er beregnet til kote 1,79, mens den for år 2100 med havnivåstigning er beregnet til 2,08.

Norges energi- og vassdragsdirektorat (NVE) har publisert prognose for forventet havnivåstigning. I dette området er netto stigning beregnet til 21 cm, korrigert for landhevning i samme periode.

Dimensjonerende flomvannstand – 200 års flom - baseres på flomsoneprosjektet for Drammen (NVE 2005).

Det skal gjennomføres en strømningsanalyse for å vurdere om dagens hovedstrømmer vil kunne endre hastighet og retning, og ev. om en konsentrasjon av hovedstrømmen vil kunne øke som en følge av at elveløpet forlenges på begge sider av Holmen.

#### *Utredningens omfang og metode:*

Det skal beregnes flomstigning i Drammenselva for 200-årsflom med NVEs modell. Havnivåstigningen skal ta utgangspunkt i Miljødirektoratets prognose. Beregnet stormflo skal ta utgangspunkt i historiske registreringer.

For å kunne analysere hvorvidt en utfylling av Holmen vil kunne påvirke strøm-, erosjon- og sedimenteringsforholdene skal det utarbeides *en 2D-modell* av Bragernesløpet, Strømsløpet og ned til Svelvikstrømmen. Dagens situasjon og framtidig situasjon med full utfylling skal vurderes.

Det skal gjøres rede for:

- Strømningsforhold
- Sedimentasjon
- Konsekvenser for forurensende sedimenter

Dersom man ser at det er behov for å utarbeide en mer detaljert analyse for å oppnå ønskede resultater, vil alternative løsninger blir vurdert, herunder blant annet endret utfyllingsform og/eller eventuelt mer detaljerte strømningsmodeller. Eventuelle avbøtende tiltak skal beskrives.»

## 2 Metodikk

### 2.1 Verktøy

Strømningsmodellering er utført med Mike21, en to-dimensjonal strømningsmodell utviklet av Danish Hydraulic Institute, DHI.

Modellverktøyet bygger på en batymetri, dvs. en beskrivelse av bunntopografien i form av en digital rutenettsmodell. Elvebunn/fjordbunn er oppdelt i kvadratiske celler, i dette tilfellet på 5m x 5m.

Modellens utstrekning i oppstrøms retning går et stykke opp i Drammenselven forbi Holmen. Grunnen til dette er at det ikke er kjennskap til fordelingen av vannføring i de to løpene rundt Holmen, mens bunntopografien er ganske godt beskrevet. Ved å ha oppstrøms grense et stykke oppstrøms forgreningen, vil modellen selv beregne fordelingen mellom løpene, basert på bunnforholdene.

En hydraulisk modell krever *grensebetingelser*, dvs. en definisjon av forholdene ved modellgrensene. Grensebetingelsene er normalt enten kjent vannføring eller vannstand, det være seg konstant eller varierende i tid og rom. Grensebetingelsene skal være upåvirket av simulerte inngrep.

Nedstrøms grense er lagt så langt fra Holmen (ca. 5 km) at det kan regnes som sikkert at forholdene på grensen ikke er påvirket av inngrepet. Nedstrøms grensebetingelse er satt til å være observert vannstandsvariasjon i Indre Drammensfjord. Denne måles av Drammen Havn rett ved Holmen.

Oppstrøms grensebetingelse er vannføringen i Drammenselven.

### 2.2 Forutsetninger og begrensninger

Utredningen angriper problemstillingen med en to-dimensjonal, dybde-integrert modell. Det vil si at en søyle fra overflate til bunn betraktes som en enhet med en gjennomsnittlig hastighet og strømningsretning. Man ser dermed bort fra strømningsmessige variasjoner i vertikal retning, herunder sjiktning/lagdelling med ferskvann oppå saltvann. I hvilken grad dette har betydning for resultatene vil bli diskutert senere.

Som et supplement er det utført et sett simuleringer for det øvre ferskvannslaget isolert. Dette er basert på en forenklet antagelse om at det stort sett ikke er bevegelse i det dypereliggende saltvannet, samt at tykkelsen av ferskvannslaget er kjent og noenlunde konstant. Dette er behandlet i Avsnitt 6.

### 2.3 Datakilder

Flomstørrelser er hentet fra NVEs flomrapporter, ref. /1/ og /2/. Tidevannsdata er hentet fra Drammen Havns egen hjemmeside for tidevannsdata, ref. /3/.

Batymetriske data (dvs. beskrivelsen av havbunnens topografi) stammer fra en tidligere utredning utført av Multiconsult i forbindelse med Vestre Viken Sykehus, ref. /4/. Dataene stammer opprinnelig fra en oppmåling utført av NGL.

### 2.4 Valgte simuleringsscenarioer

Når det gjelder oppstrøms grensebetingelse, altså tilstrømningen fra Drammenselva, er det valgt å simulere to ulike situasjoner. Den ene er normalvannføringen  $Q_N$ , som er gjennomsnittet av alle observerte vannføringer. Denne er tenkt som mest mulig representativ for «vanlige» forhold. Den andre situasjonen er en flomsituasjon, men ikke en ekstrem flom, siden dette vil forekomme så sjelden at ansees å ha liten interesse. Det er følgelig valgt å se på en såkalt middelflom,  $Q_M$ . Begrepet middelflom innebærer at man utregner gjennomsnittet av alle *årsflommer* (Ϸ: årets største

flomhendelse) over en lengre årrekke. Som tommelfingerregel vil en middelflom ha gjentakingsinterval rundt ca. 2,3 år, dvs. overskrides litt sjeldnere enn annet hvert år. Med andre ord avspeiler dette en flomsituasjon som «nesten» opptrer noen få døgn rundt annen hvert år. Simuleringen med flom betraktes som særlig interessant i forbindelse med problemstillingen med ras på bredden ut mot elv/fjord.

Det simuleres altså følgende to flomsituasjoner:

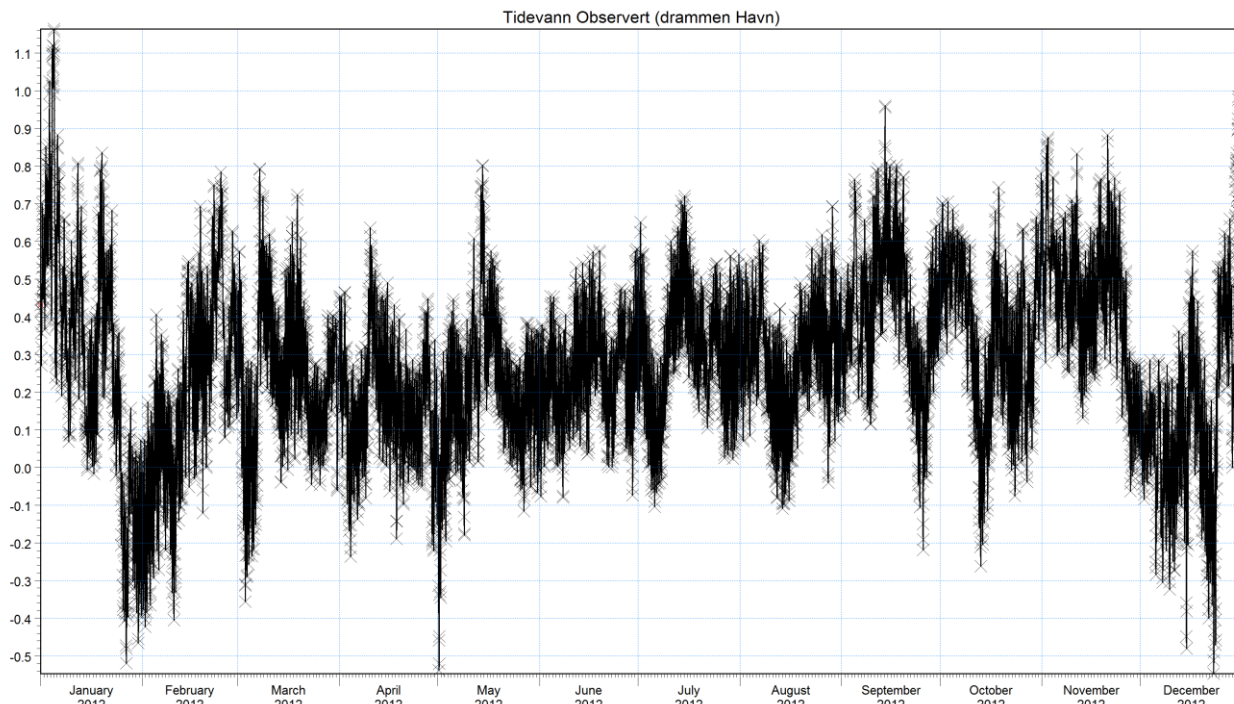
- Normalvannføring i Drammenselva = 300 m<sup>3</sup>/s, i Lierelva = 30 m<sup>3</sup>/s.
- Middelflom i Drammenselva = 1000 m<sup>3</sup>/s, i Lierelva = 100 m<sup>3</sup>/s.

For nedstrøms grensebetingelse som er tidevannsvariasjonen – eller rettere observert vannstand (som er resultat av tidevann kombinert med vær), er det valgt følgende perioder (se Figur 2-1);

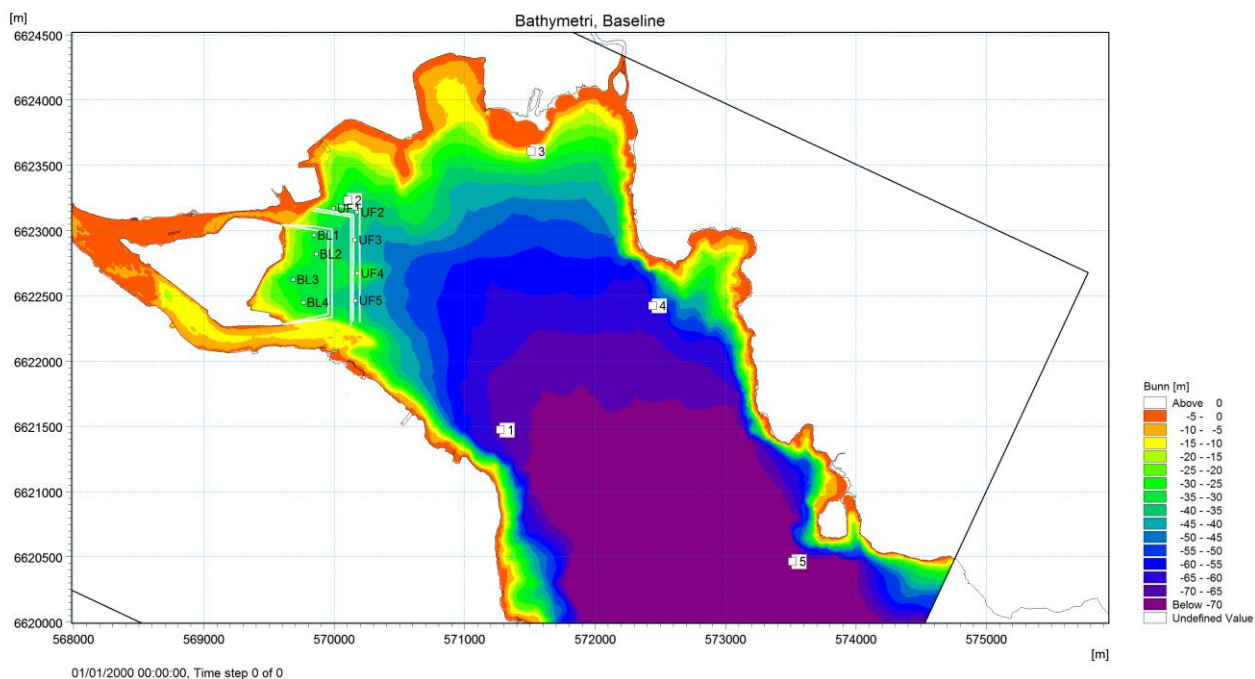
- Periode med forekomst av uvanlig høy vannstand: 01-10 januar 2012
- Periode med forekomst av uvanlig lav vannstand: 20-30 desember 2012.

Med to varianter av oppstrøms grensebetingelse og to varianter av nedstrøms grensebetingelse blir det altså fire kombinasjoner. Alle fire er simulert, men noen av kombinasjonene viste seg å adskille seg helt marginalt fra hverandre og vil derfor kun bli omtalt overfladisk.

Scenarier med normalvannføring  $Q=300$  m<sup>3</sup>/s simulert kjørt i 9 døgn og scenarier med middelflom 1000 m<sup>3</sup>/s er simulert i to døgn. I begge tilfeller er simuleringen kjørt ett ekstra døgn for å eliminere «oppstart-effekter» fra de presenterte dataene.



Figur 2-1 Observert vannstand 2012 ved Drammen (Kilde: Drammen Havn, ref /3/).



Figur 2-2 Batymetri (buntopografi). Dagens situasjon.

### 3 Beskrivelse av nåværende strømningsforhold

#### 3.1 Vannføring $Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}$ i Drammenelva.

Figur 3-2 og Figur 3-3 viser strømningsmønsteret som et øyeblikksbilde på et tilfeldig valgt tidspunkt. Strømningsretning vises av pilene og pilens lengde avspeiler strømfart<sup>1</sup>. Strømfart avspeiles i tillegg av fargeskalaen. Den fremtidige utfyllingens grenser er antydnet med hvite linjer. Ettersom et øyeblikksbilde ikke nødvendigvis er representativt presenteres i tillegg et kart av strømfart som gjennomsnitt over hele simuleringsperioden, Figur 3-4. De to figurene (Figur 3-2 og Figur 3-4) avviker faktisk lite fra hverandre, hvilket betyr at øyeblikksbildet altså er representativt.

Den kraftige rødfargen på Figur 3-4 viser størst strømfart – over 3 cm/s - i elveløpene og rundt en halv kilometer ut i fjorden fra Strømsløpet. Tilsvarende bilde ses ved utløpet fra Lierelva. I selve Drammenselven ligger hastighetene dog mye høyere, rundt 30 cm/s i Strømsløpet.

Fart under 0,2 cm/s er «grået ut» på kartet. Langs fjordens østlige bredd er hastigheten betydelig mindre enn langs vestbredden; strømmen holder seg altså hovedsakelig langs vestbredden.

Figur 3-5 viser et kart av gjennomsnittlig strømningsretning. Se forklaringen i Tabell 1. I selve Drammenselven og i et stort område i fjorden, som går helt til motsatt bredd vises hovedsakelig strøm mot øst (blå). Ca. 2 km ned i fjorden har retningen snudd til mer sørlig (grønn). I den nordligste del av fjorden er det en skarp overgang fra østlig strøm (blå) til mer eller mindre vestlig strøm (gul). Dette indikerer en *sirkulasjonsstrøm* eller bakevje nord for skillelinjen. Hastighetskartet viser at hastighetene er svært små i dette området, og især i selve skillelinjen mellom strømningsretningene. Sirkulasjonsstrømmen medfører at ferskvannsstrømmen gjennom Bragernesløpet umiddelbart dreier mot sør i stedet for å fortsette rett frem, som det er tilfellet fra Strømsløpet. Bragernes-strømmen går altså gjennom det planlagte utfyllingsområdet.

Tabell 1 Forklaring til kart over strømningsretning

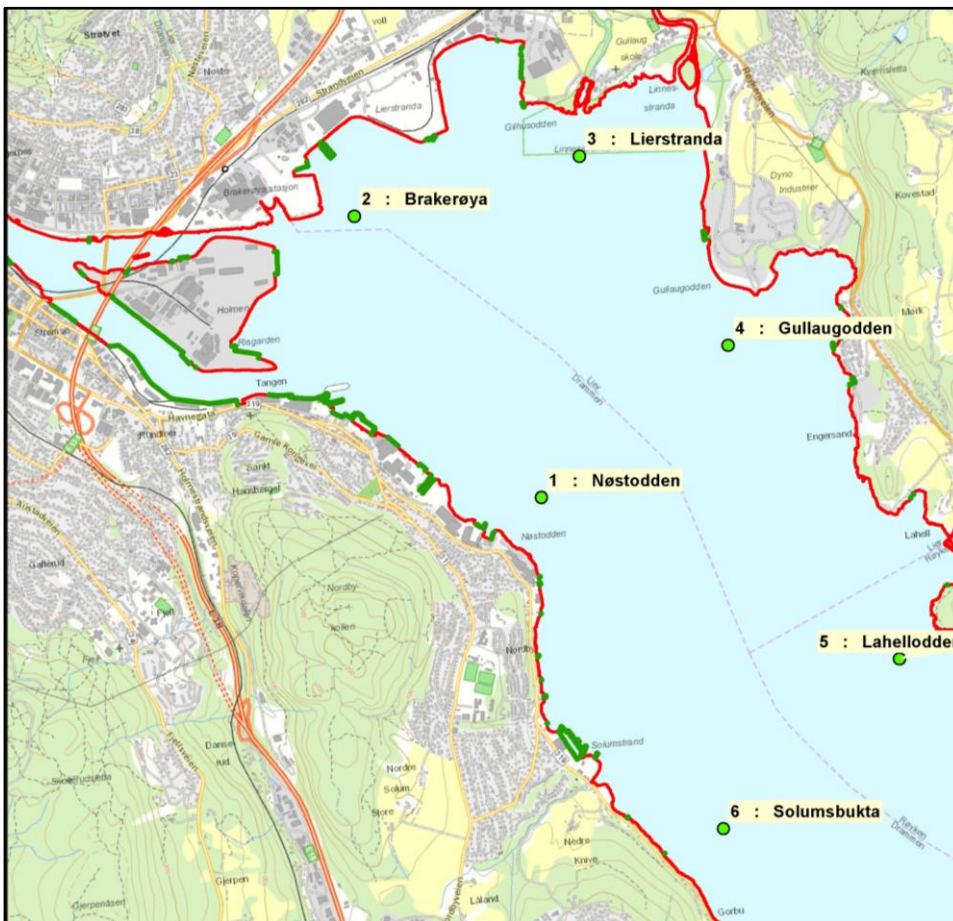
Farge	Grader	Himmelretning (strøm mot...)
Rød hhv. fiolett	0° og 360°	Nord
Gul	270°	Vest
Grønn	180°	Sør
Blå	90°	Øst

Ettersom et gjennomsnittsbilde gir begrenset informasjon, betraktes også strømfartens *tidsforløp* i utvalgte punkter. Det er utvalgt 6 punkter fordelt jevnt utover fjorden, punkt 1-6, se Figur 3-1. I Vedlegg 2 (Figur V2-0-1) viser figuren øverst strømfartens variasjon i de seks punktene over 9 dagers perioden. Bildet avspeiler først og fremst tidevannsvariasjonen og at man ser at farten (dybdemidlet) generelt ligger mellom null og en halv cm/s.

<sup>1</sup> **Definisjon:** I ethvert punkt beregnes til enhver tid en *hastighet*. Denne er en *vektor*, dvs. den har en størrelse og en retning. Vektorens *absolutte størrelse* kalles i det følgende *strømfart* eller evt. bare *fart*. *Retningen* uttrykkes som en vinkel ift nord og har enhet i grader. Positiv omløpsretning er medsols: 0° er altså strøm mot nord og 90° er strøm mot øst.

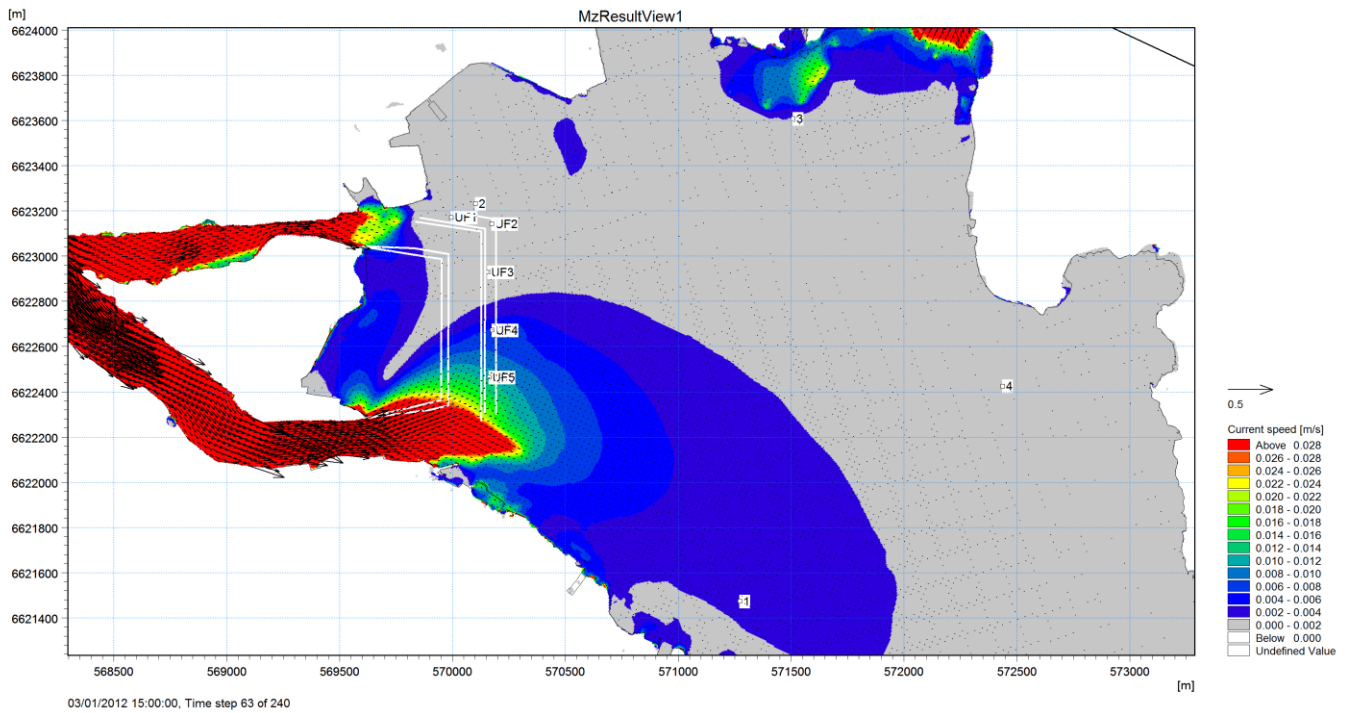
Den nederste figuren i Vedlegg 2 (Figur V2-0-2) viser et tilsvarende tidsserieplot av strømningsretningen i de seks punktene. Tidevannsvariasjonen influerer tydelig på flere av punktene, men for øvrig er bildet uoversiktlig.

For å få et mer oversiktlig bilde, avbildes fart og retning i *samme* figur, men uten at tidspunktet fremgår eksplisitt. For  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$  (januar) er dette presentert i Vedlegg 2, Figur V3-0-1 øverst. Hver prikk på figuren representerer et tidsrom på 1 time. Man ser en konsentrasjon av hendelser omkring retning  $135^\circ$  (= mot sørøst), altså retningen fra Holmen ut mot ytre fjord, og det er også her den største farten opptrer for punktene 1,4,5 og 6. For punkt 2 og 3 derimot ligger de fleste hendelsene i intervallet  $180\text{-}270^\circ$  altså fra sydlig til vestlig strøm. Farten er mindre enn for de andre fire, men ligger ganske jevnt. Disse to punktene ligger i det nordlige området med sirkulasjonsstrømmen.

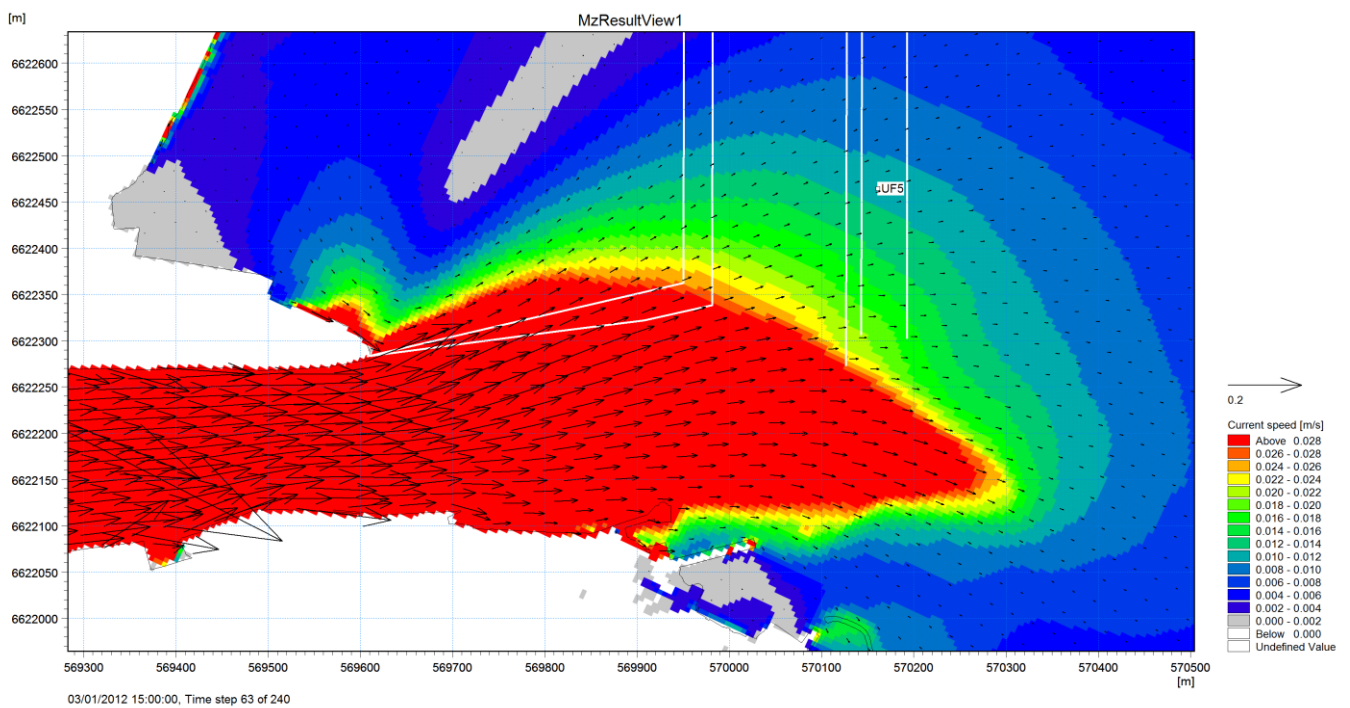


Figur 3-1 Kontrollpunkter 1-6 fordelt i fjorden.

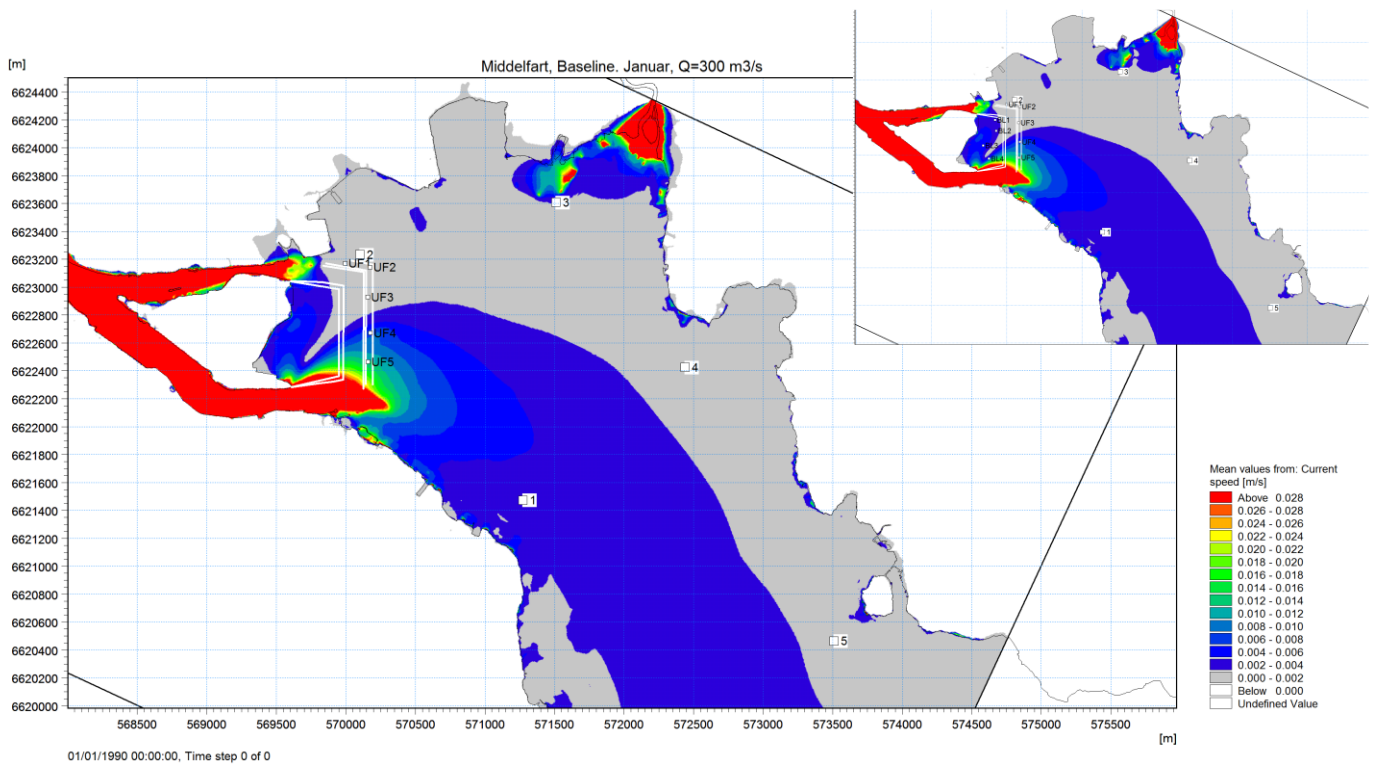




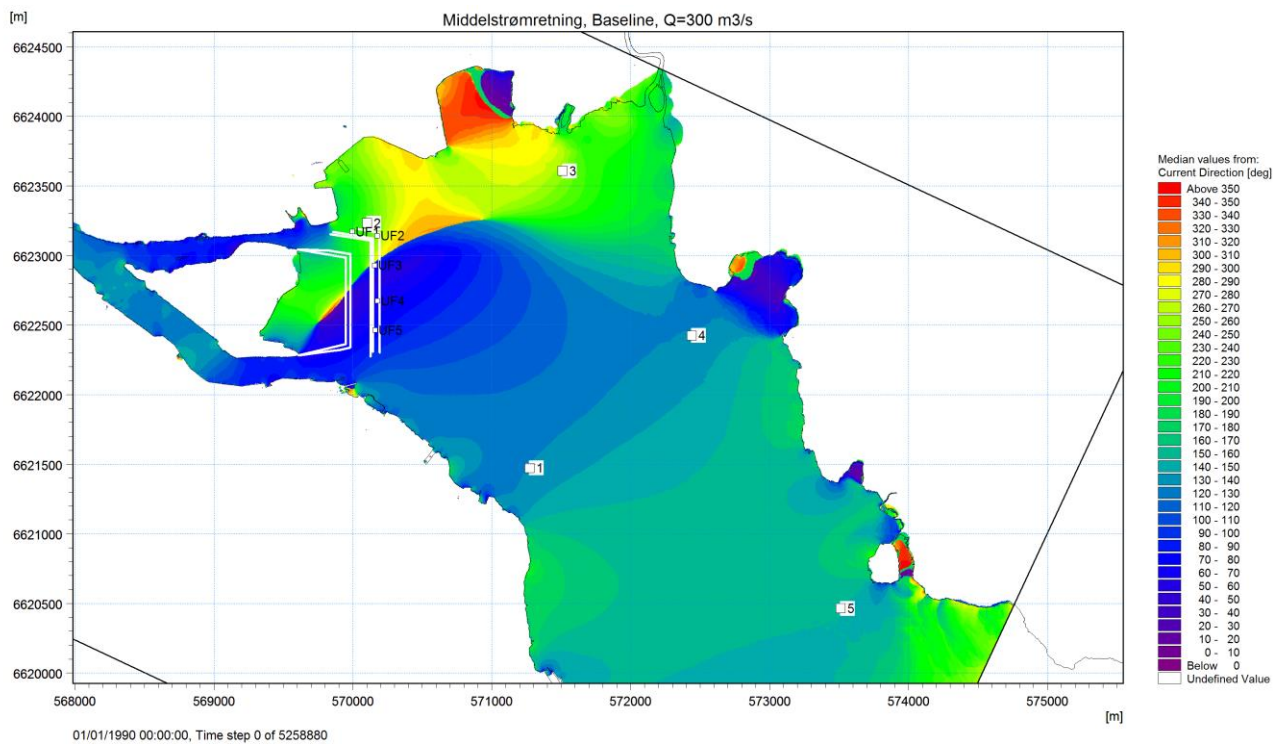
Figur 3-2 Øyeblikksbilde av strømningsmønsteret.  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$  i Drammenselva, dybdemidlet. Pilene viser strømningsretning og pilens lengde viser strømfart. Strømfarten avspeiles også av fargene.



Figur 3-3 Som over, her zoomet inn på Drammenelvas utløp. Dybdemidlet.



Figur 3-4 Middelfart, Q=300 m<sup>3</sup>/s i Drammenselva (januar). Dybdemidlet. Det lille bildet viser tilsvarende resultat for desember. Forskjellen er marginal.



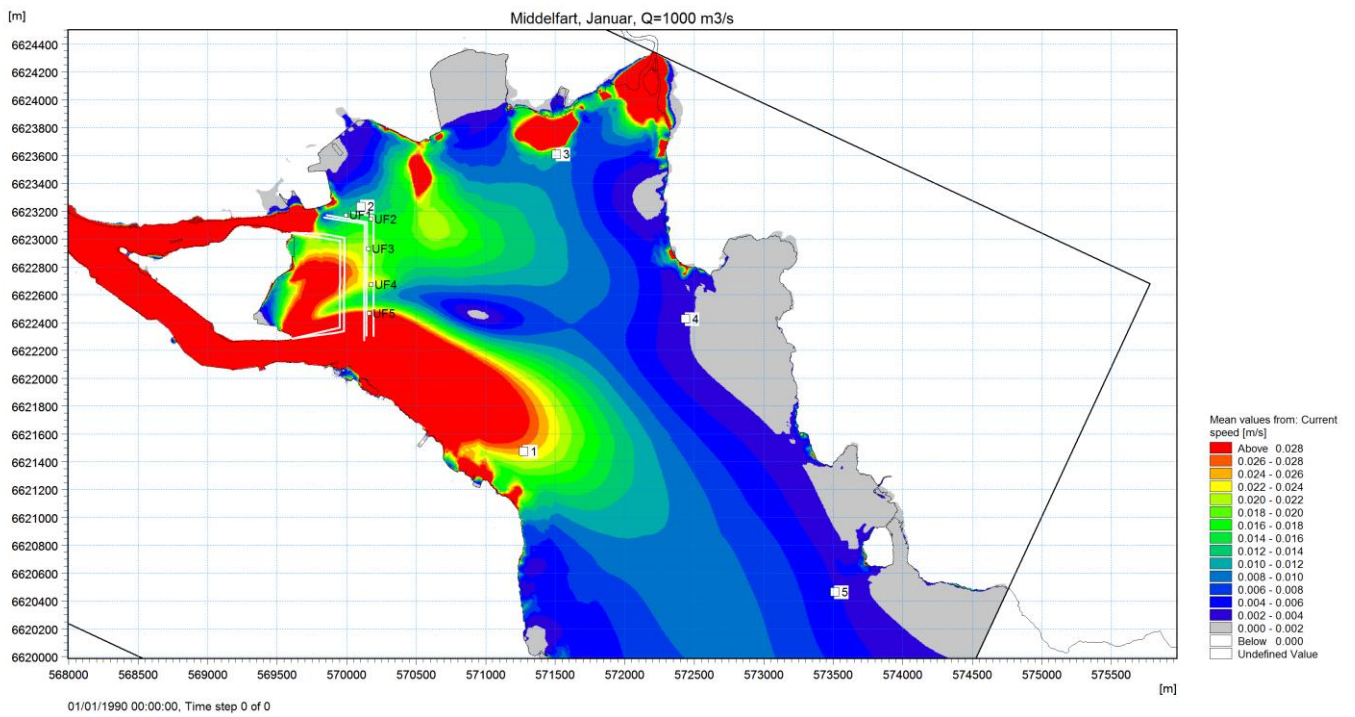
Figur 3-5 Midlere strømretning, Q=300 m<sup>3</sup>/s i Drammenselva (januar). Dybdemidlet.

### 3.2 Vannføring $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ i Drammenelva.

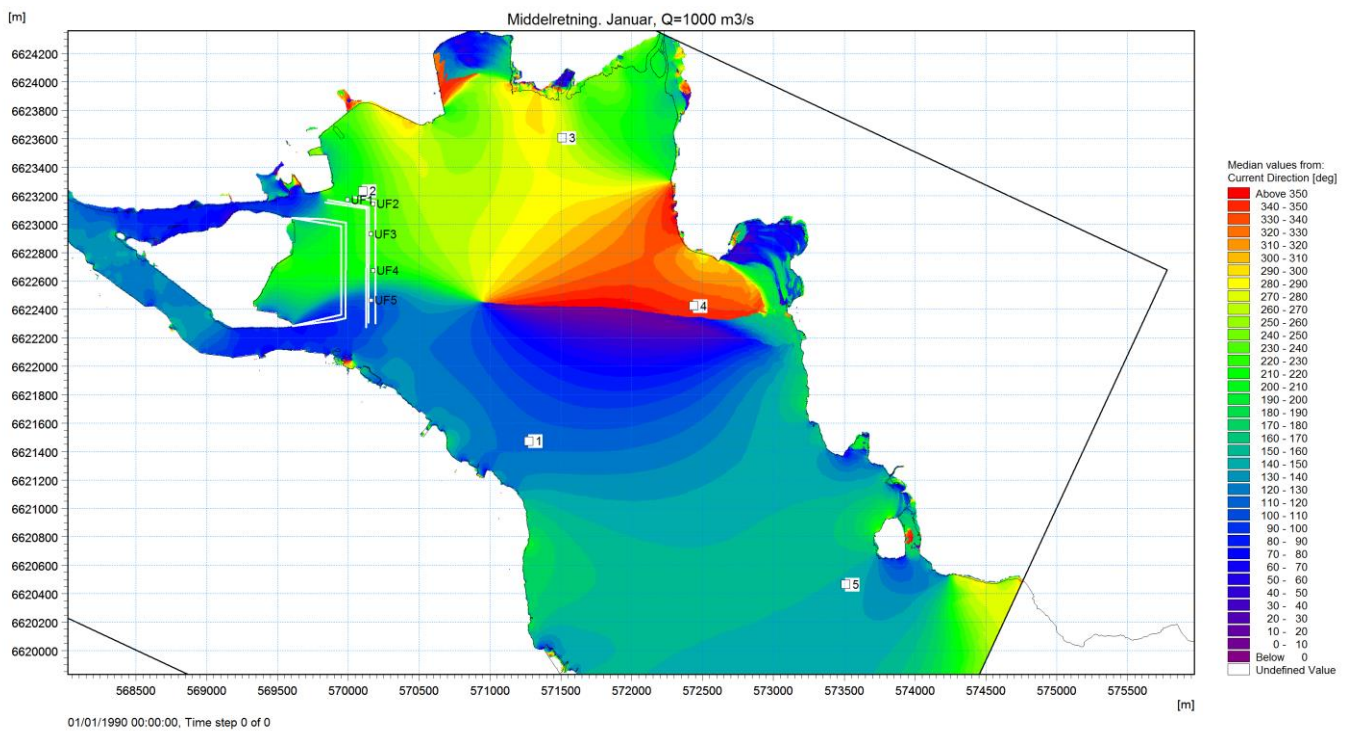
Figur 3-6 viser et kart over strømfart for  $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Sonen med de høyeste fartsverdiene brer seg lenger ut i fjorden enn ved  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ . Rett vest for Holmen ses et tydelig «stagnasjonspunkt» med mye lavere strømfart enn nord og sør for dette. Strømrøtningene som er avbildet på Figur 3-7, viser at stagnasjonspunktet er sentrum for den omtalte sirkulasjonen, som her er enda mer utpreget enn ved  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ . Også ved flom ses at strømmen fra Bragernesløpet dreier mor sør og renner gjennom det planlagte utfyllingsområdet.

Figur V2-0-3 i Vedlegg 2 viser tidsserieplottet for  $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$  at fartens tidevannsfluktusjon (i forhold til fartens størrelse) er betydelig mindre enn for  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ , hvilket avspeiler at ferskvannsstrømningen er den helt dominerende drivende kraften under flom. For punktene 1-2-3 er farten betydelig høyere enn ved  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Plottet som viser korrelasjon mellom fart og retning viser, sammenlignet med det tilsvarende korrelasjonsplot for  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ , en mye mindre variasjon både mht. fart og retning; hver punkt sky er mye mer konsentrert enn for  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ .



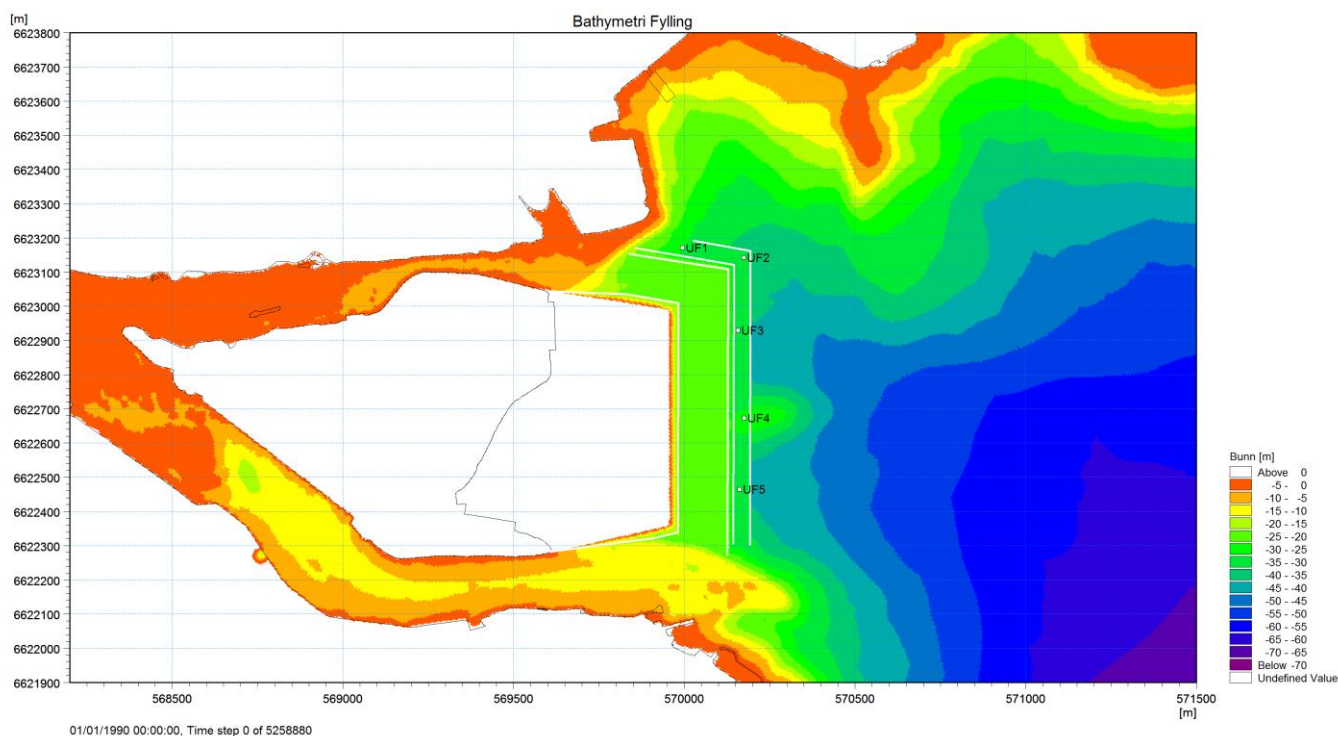
Figur 3-6 Middelfart, Q=1000 m<sup>3</sup>/s i Drammenselva (januar). Dybdemidlet.



Figur 3-7 Midlere strømretning, Q=1000 m<sup>3</sup>/s i Drammenselva (januar). Dybdemidlet.

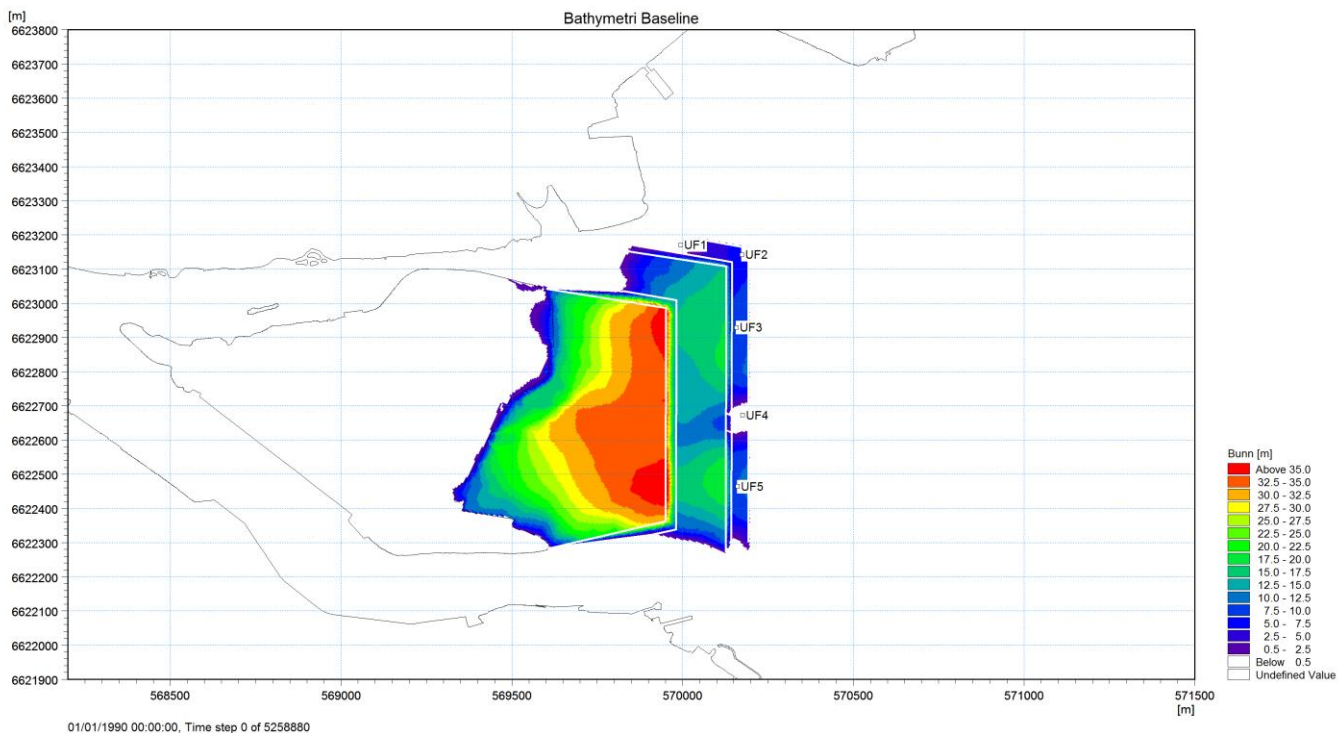
## 4 Planforslaget

Figur 4-1 under viser terrengmodell etter utfylling. Arealet som er hvitt på Figur 4-1 viser alt som er land etter endt utbygging. Det fargede arealet mellom de hvite linjene vil fortsatt være fjord, men bygges opp til to horisontale hyller som støttefyllinger. De to hyller vil ligge på 20 m dyp (bredest, lengst vest) hhv. 30 m dyp (smalest, lengst øst).



Figur 4-1 Batymetri (bunntopografi) etter utfylling. Dybder ift. sjøkartnull.

På Figur 4-2 er planlagt og eksisterende bunntopografi trukket fra hverandre og viser differansen mellom nåværende og fremtidig bunn, altså hvor mye bunnen heves. Figuren viser at størst heving av bunnen er rundt 37 m (rødt), men dette blir tørt land og tallet har derfor ingen betydning ift modellering. På det som vil fortsatt vil være fjord er størst heving rundt 20 m.



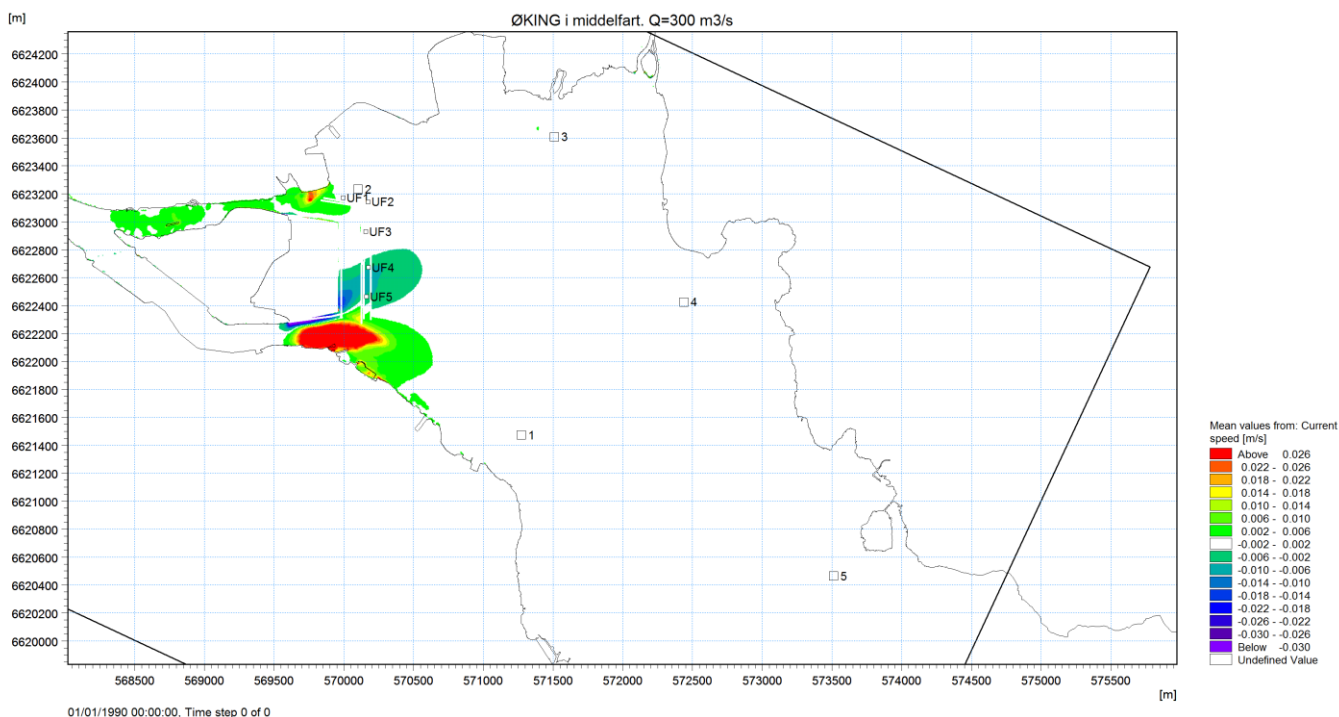
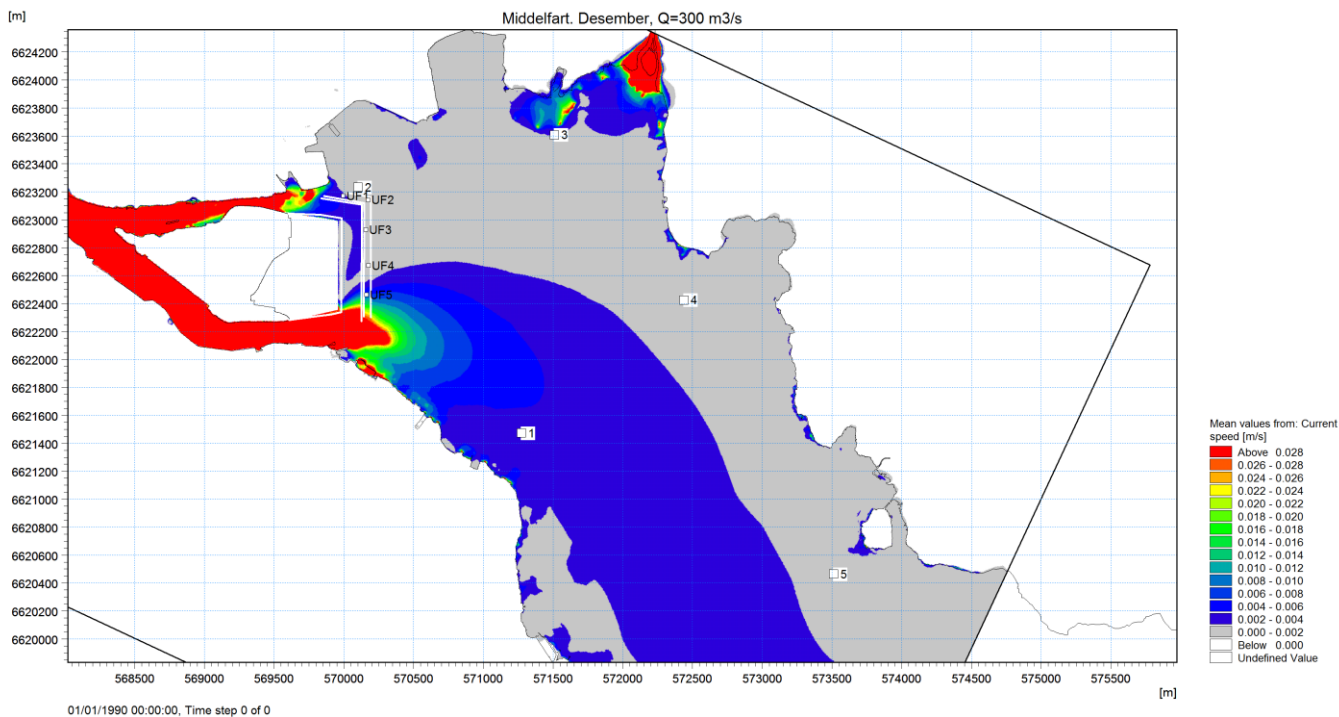
Figur 4-2 Endring av batymetri ift nåværende, dvs. heving av fjordbunn.

## 5 Strømningsmessige konsekvenser

### 5.1 Konsekvenser i modellområdet generelt.

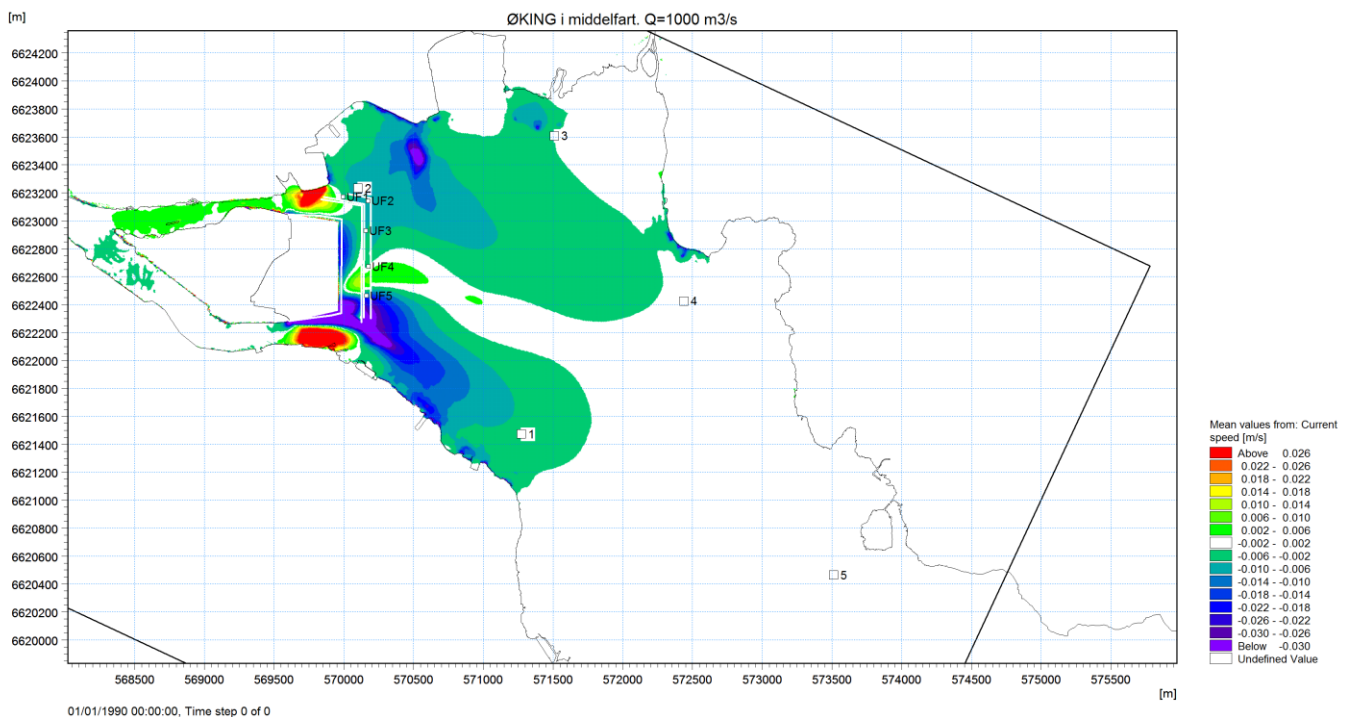
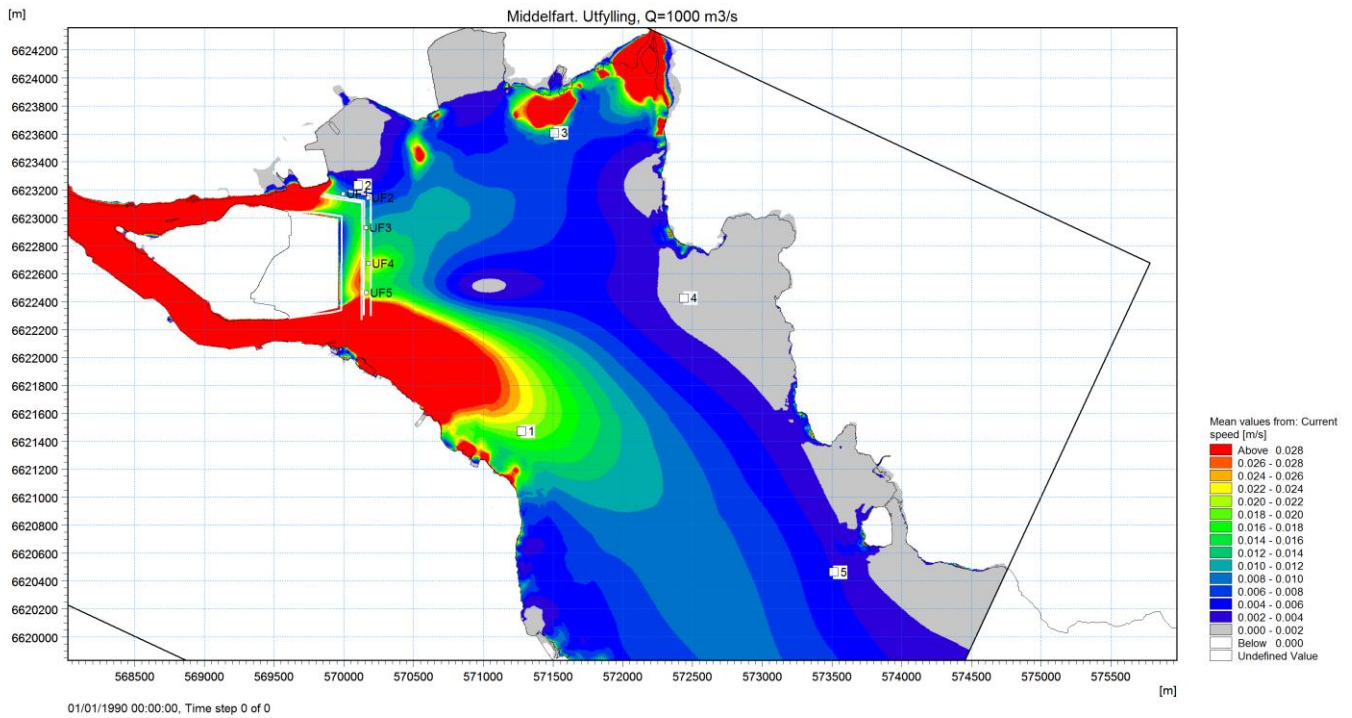
Figur 5-1 øverst viser et kart over geografisk fordeling av (gjennomsnittlig) strømfart ved  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ . Når man sammenligner med Figur 3-4 (dagens situasjon) ses ikke dramatiske forskjeller, bortsett fra at det utfylte området nå er tørt land. For å gjøre forskjellene tydelige, er det utarbeidet et differansekart, som vises nederst på Figur 5-1. Det viser differansen mellom strømfart før og etter utfylling, beregnet celle for celle. Kartet viser at den største forskjellen i fart skjer i et område som i dag er fjord men kommer til å bli lukket inne i en forlengelse av Strømsløpet. Dessuten ses noe reduksjon (blå-grønne fargetoner) av strømmen rett utenfor Holmen. I dag er dette mer eksponert for utstrømningen av ferskvann og kommer til å ligge noe mer beskyttet bak fyllingens sørlige hjørne.

Figur 5-2 øverst viser bildet av strømfart ved  $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Kvalitativt avviker ikke strømningsmønsteret markant fra dagens situasjon. Farten er litt mindre ute i åpen fjord; gulfargen (2,2-2,4 cm/s) når i dagens situasjon helt ut til Punkt 1, men det gjør den ikke med utfylling. Differansekartet nederst på figuren viser da også at det - i likhet med  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$  - er en sone med økt fart i forlengelsen av Strømsløpet. Men i flomsituasjonen er det også en større sone med redusert strømfart, som strekker seg ut fra fyllingens sørlige hjørne.



Figur 5-1 Strømfart etter utfylling (middelerverdi over 9 døgn). Q=300 m<sup>3</sup>/s. Nederst endring i strømfart i forhold til dagens situasjon. Dybdemidlet.





Figur 5-2 Strømfart etter utfylling (middelerverdi over 2 døgn). Q=1000 m3/s. Nederst endring i strømfart i forhold til dagens situasjon. Dybdemidlet.

## 5.2 Konsekvenser representert ved kontrollpunkter i åpen fjord.

Resultatene er fremstilt i Vedlegg 4. Her sammenlignes før- og etter-situasjonen i de 6 punktene som er vist på Figur 3-1. Figur V4-0-1 i Vedlegg 4 viser på et plott av strømfart mot strømningsretning, der hver prikk representerer et tidsrom på 1 time. For  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$  er dagens situasjon avbildet øverst på Figur V4-0-1 og utfylling nederst. Man ser lett at kun for Punkt 2 (oransje) er det en merkbar forskjell. Dette punktet ligger rett utenfor Bragernesløpets utløp. Her blir strømfarten høyere (og mere variert) mens retningen endrer seg fra sektoren sørlig-vestlig, blir den mer rett øst ( $90^\circ$ ). Det er ikke overraskende at det er punkt 2 som opplever størst endring, ettersom det ligger nærmest elvemunningen, tett ved Bragernesløpet.

Figur V4-0-2 viser den tilsvarende fremstillingen for  $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$  (middelflom). Den vesentligste endringen ift. dagens situasjon er igjen for Punkt 2 (oransje), som ligger rett utenfor Bragernesløpet. Ved middelflom er det imidlertid en *reduksjon* av farten. Dessuten er det i Punkt 4 en viss endring i retning, men ikke i fart. At man ser en *reduksjon* i Punkt 2 ift dagens situasjon antas å skyldes en viss endring i strømningsmønsteret slik at sonen med høyere hastighet ikke lenger treffer Punkt 2.

## 6 Simulering av ferskvannslaget

Simuleringene som er omtalt i det foregående er som nevnt basert på en dybdemidling, dvs. at angitt strømfart og –retning er et gjennomsnitt over hele dybden fra overflate til bunn. Såfremt de virkelige hastigheter hadde vært noenlunde jevnt fordelt over hele dybden ville gjennomsnittsverdiene være en virkelighetsnær beskrivelse. Imidlertid viser flere studier at det er et sprangsjikt til stede slik at (lett) ferskvann fra Drammenelva legger seg som et grunt lag over det tyngre saltvannet i fjorden. En saltvannkile går for øvrig et godt stykke opp i Drammenelva. I mange fjorder kan det være bevegelse i begge sjiktene, men ettersom Svelviksundet er svært grunt (og trangt) er saltvann fra havet og ytre Oslofjord forhindret i å komme inn i Drammensfjorden – det meste av tiden. Følgelig er det så å si ingen bevegelse i det dype saltvannet og all bevegelse skjer i det øvre ferskvannslaget, i grove trekk.

I virkeligheten er det en viss medrivningsprosess idet bevegelsesenergien i ferskvannet river med seg saltvann i sprangsjiktet slik at noe av ferskvannets bevegelsesenergi omdannes til potensiell energi ved at saltet løftet opp i det ferske laget. Slik vil saltvannet gradvis «eroderes» ned inntil værforholdene bevirker en «skvulp» av saltvann over Svelvikterskelen. Men det er rimelig tilnærming på kort sikt å anta at saltvannet er helt passivt.

Som et supplement til de midle simuleringene er det gjennomført et sett simuleringer for ferskvannslaget isolert. For å kunne gjøre det må man vite tykkelsen av laget. De undersøkelser som pr. i dag foreligger (ref. /5/ og /6/) tyder på at lagets tykkelse er varierer mellom ca. 3-7 meter avhengig av sted og tid. Vi vil her bruke den hyppigst forekommende verdien hvilket er ca. 5 meter. De tilgjengelige dataene dekker kun et begrenset utvalg av lokaliteter og perioder, så det er en viss usikkerhet forbundet med antagelsen, men det antas at det likevel er et verdifullt supplement til gjennomsnittsbetraktningen.

I praksis er «ferskvannssimuleringen» gjennomført ved å innlegge en «falsk bunn» i terrengmodellen på 5 meters dybde. I forhold til de dybdemidlede simuleringene vil strømfarten være større. Beregningen som omfatter hele dybden og dermed også saltvannet, kalles i det følgende den «dybdemidlede beregningen» for enkelthets skyld. Det er strengt tatt litt misvisende ettersom begge beregningene er dybdemidlet, men ferskvannberegningen er altså kun dybdemidlet over de øverste 5 m.

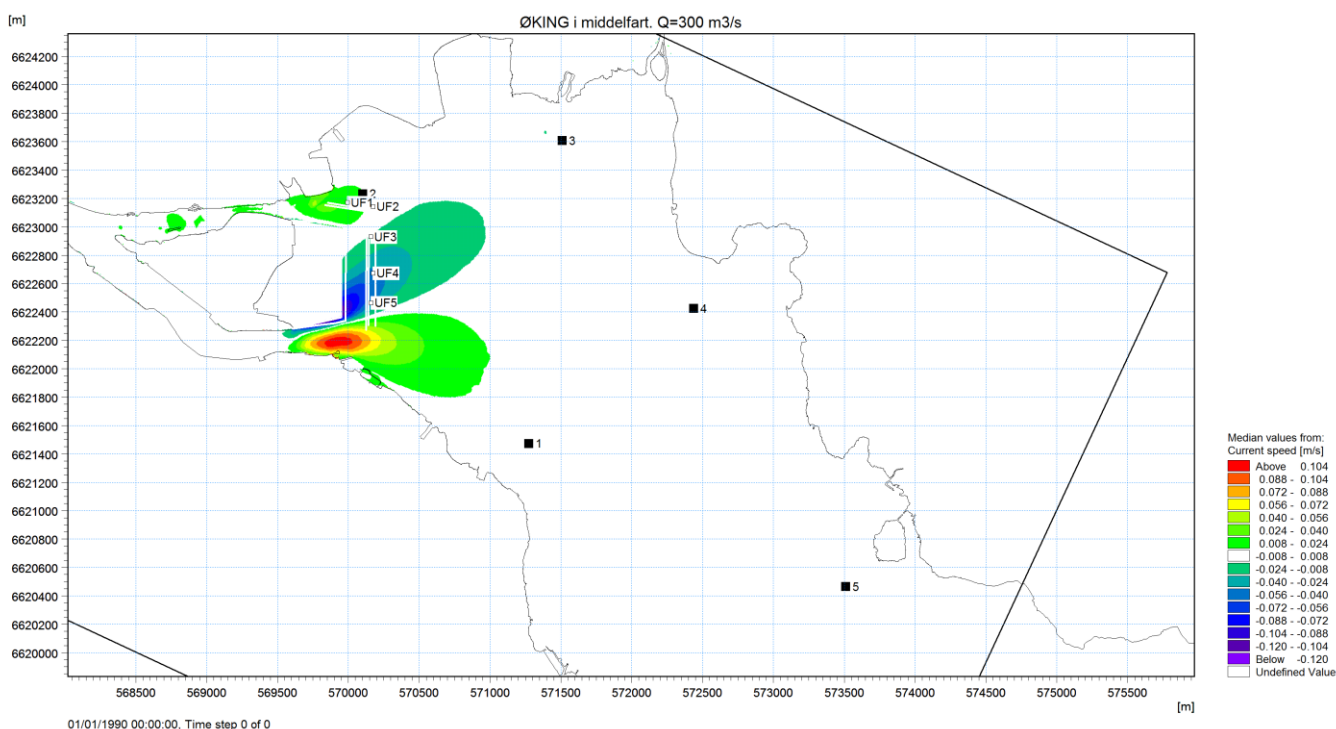
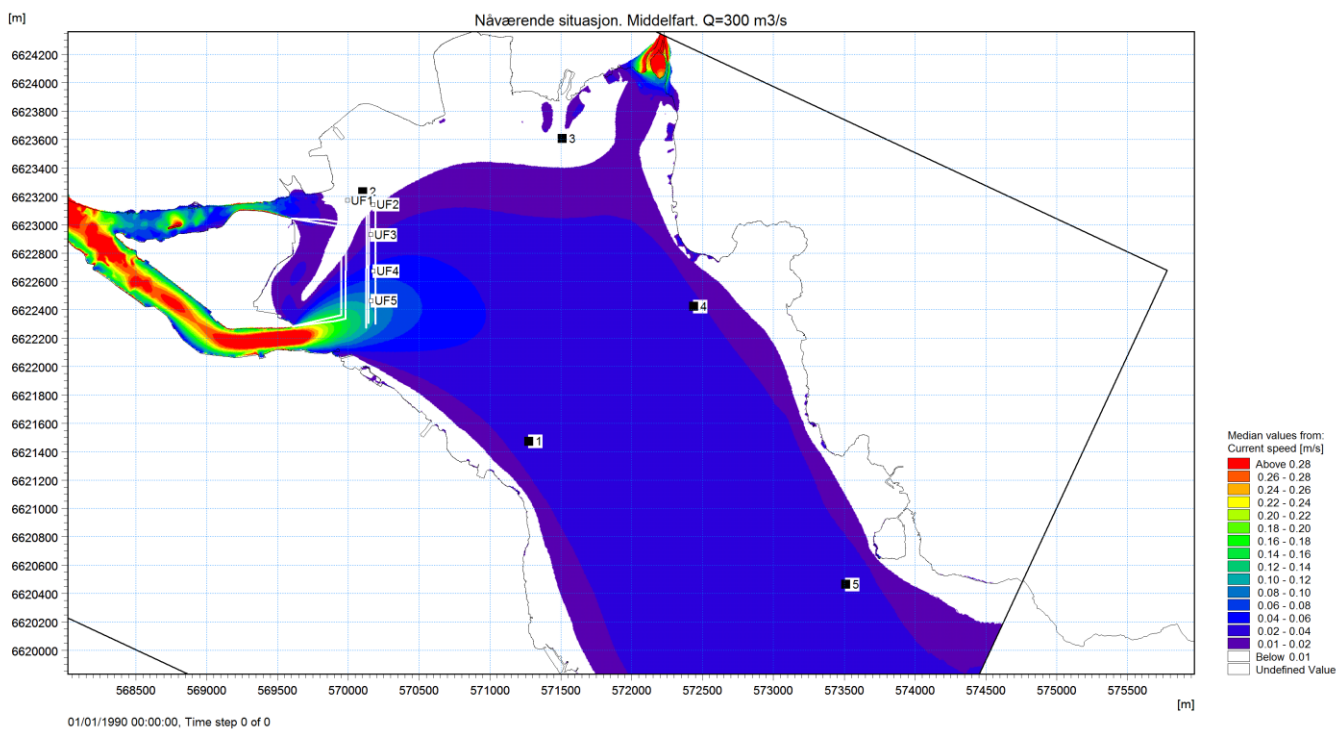
Det gjøres oppmerksom på at det ikke er slik at ferskvannberegningen i enhver henseende er mer realistisk enn den dybdemidlede. Den dybdemidlede fremstillingen vil være en bedre beskrivelse kun så lenge antagelsen om at strømmingen bare sprer seg i ferskvannslaget og at dette er 5 m tykt stemmer bra med virkeligheten. Det er gode indikasjoner (NVE, ref. /1/) på at saltvannskilen presses ut av elven under flom. Dette har betydning for simuleringen for middelflom  $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$ , men ikke for normalvannføring  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ . For middelflom betyr dette at i selve Drammenelva er etter alt å dømme beskrivelsen mest korrekt i den dybdemidlede beregningen, mens ute i åpen fjord er beskrivelsen best i ferskvannsberegningen. Akkurat i overgangen er det vanskelig å avgjøre hvilken fremstillingen som er mest realistisk, bl.a. fordi vi ikke vet hvor langt saltvannskilen presses ut. Det er akkurat i overgangen mellom elv og fjord at man ser de største endringer av fart og følgelig er det er betydelig usikkerhetsmoment.

### 6.1 Konsekvenser – geografisk utbredelse

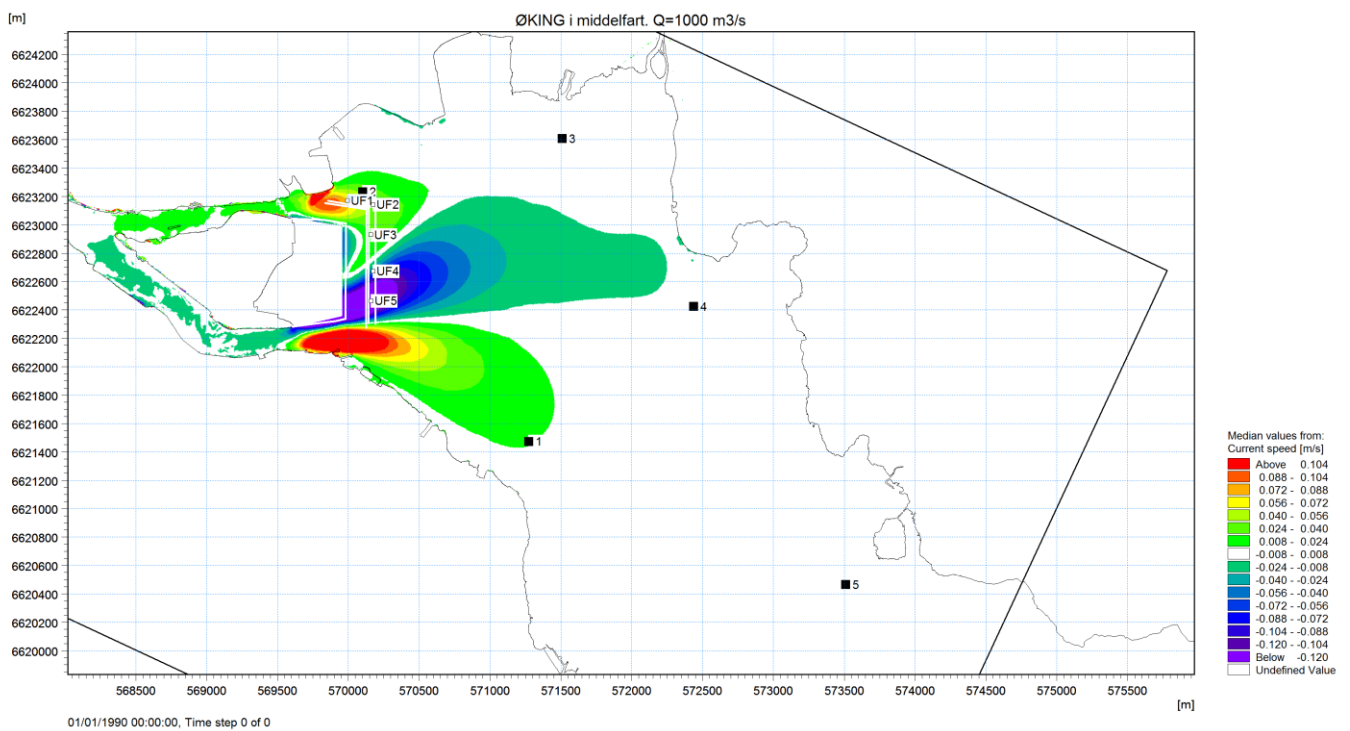
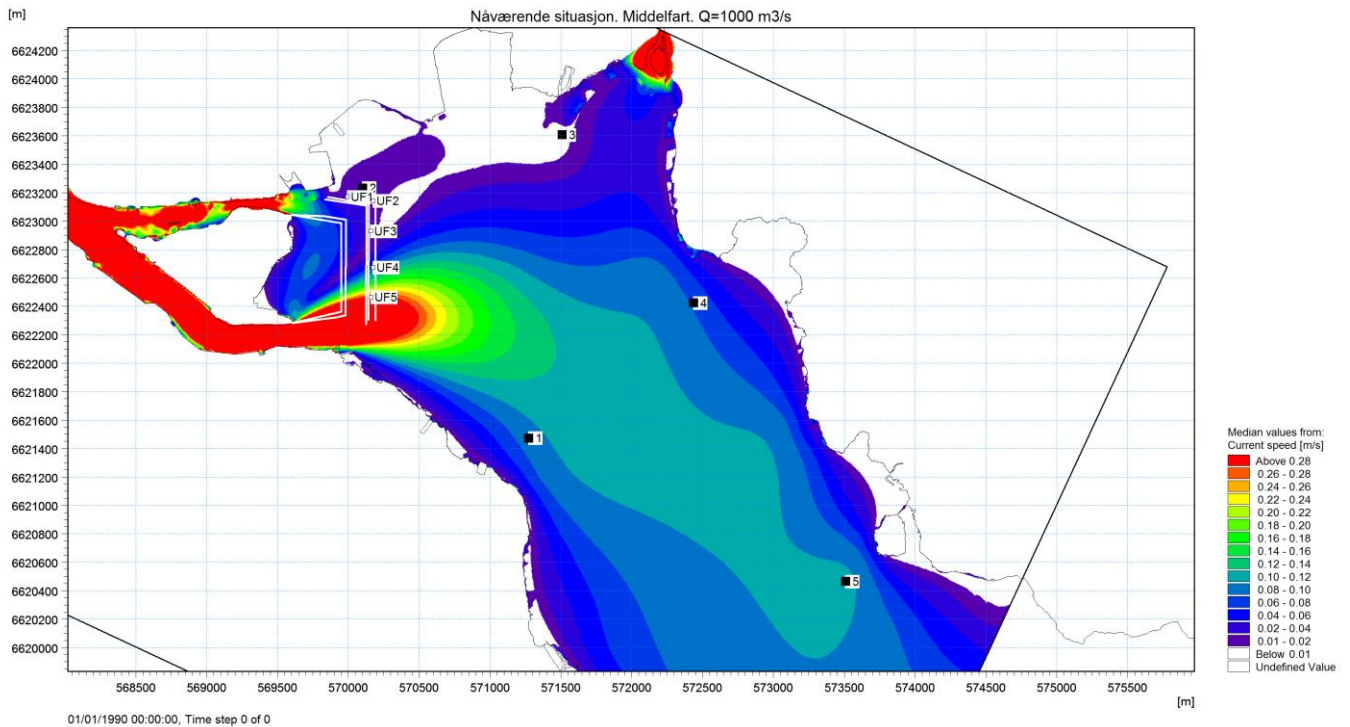
Figur 6-1 øverst viser et kart over strømfart (gjennomsnitt av 9 døgn) i ferskvannstrømmen. Kartet gjelder dagens situasjon. Kartet adskiller seg ikke kvalitativt fra bildet vi så i den dybdemidlede modellen, men som forventet er verdiene betydelig høyere. Bemerk at man skal være varsom med å sammenligne denne figuren med Figur 3-4, ettersom fargeskalaen ikke er den samme.

Figur 6-1 *nederst* viser differansen i middelfart mellom planforslaget og dagens situasjon. Igjen ser vi at det kvalitative bildet ikke avviker *vesentlig* fra den dybdemidlede beregningen.

Figur 6-2 viser de tilsvarende bilder for middelflom  $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Øverst ses dagens situasjon. Her ser bildet – også kvalitativt – noe annerledes ut, sammenlignet med den dybdemidlede beregningen; sonen med høy fart fortsetter i større grad rett frem (øst) i stedet for å dreie mer mot sør. Det antas derfor at grunnen til dreiningen mot sør i den dybdemidlede beregningen er dybdeforholdenes betydning. I så fall er det klart at det er et mer riktig bilde vi får frem i beregningen for ferskvannslaget. Man ser også at stagnasjonspunktet (dvs. nesten ingen vannhastighet) som sirkulasjonsstrømmen har som sentrum, har flyttet lenger nord i denne beregningen. Det virker dessuten mindre fremtredende enn i den dybdemidlede beregningen.



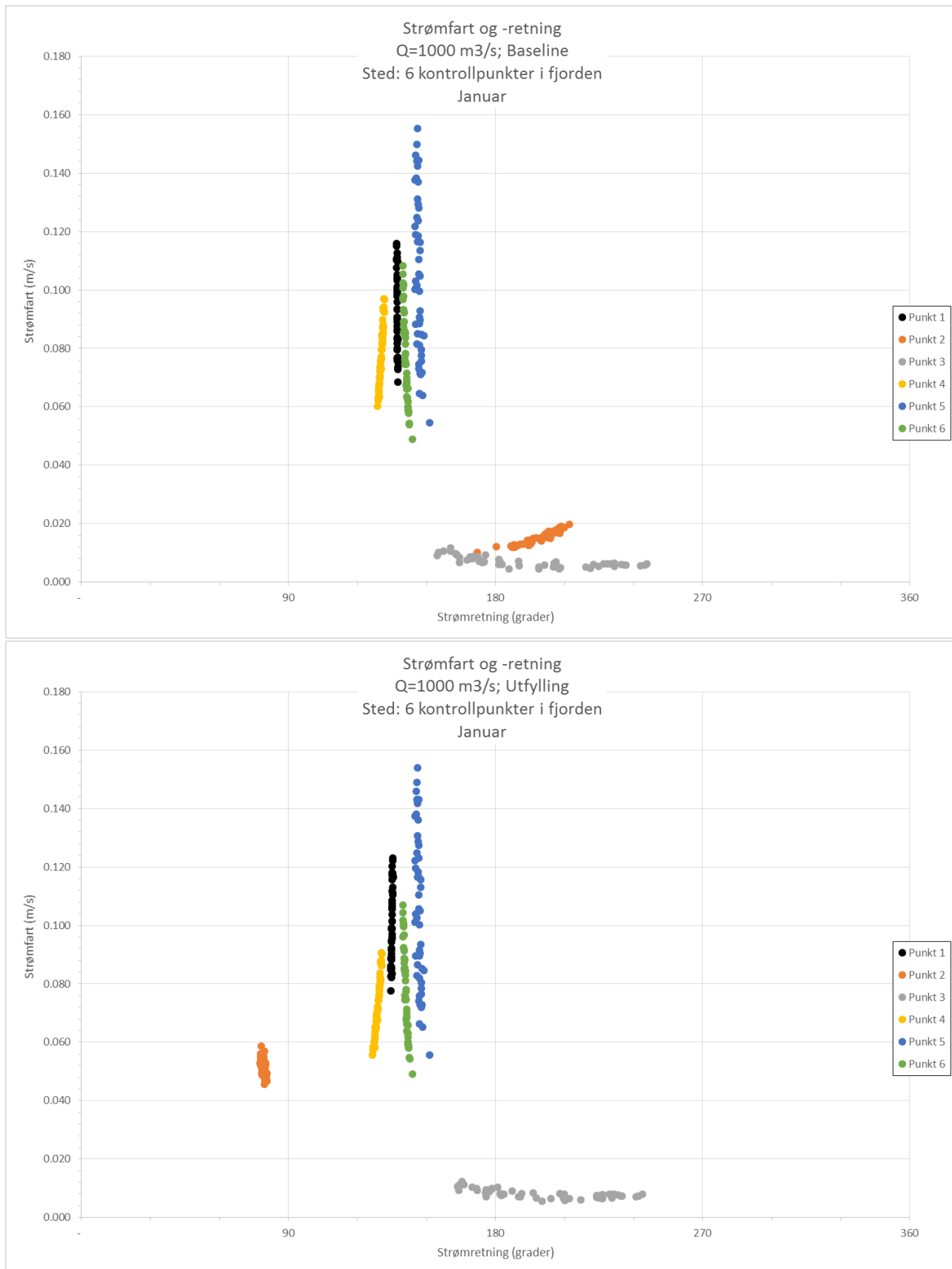
Figur 6-1 Øverst: Strømfart før utfylling, Q=300 m<sup>3</sup>/s (simulering av ferskvannslaget).  
Nederst: Økning av strømfart ift dagens situasjon.



Figur 6-2 Øverst: Strømfart før utfylling, Q=1000 m3/s (simulering av ferskvannslaget).  
Nederst: Økning av strømfart ift dagens situasjon.

## 6.2 Konsekvenser - kontrollpunkter i fjord

Figur 6-3 viser samhørende verdier av strømfart og –retning; øverst dagens situasjon og nederst med utfylling. Det er lett å se at kun Punkt 2 (oransje) er vesentlig påvirket: dels økes strømfarten fra under 2 cm/s til rundt 5 cm/s, dels endrer retningen seg rundt 130 grader, fra SSV (210 grader) til nesten Ø (80 grader). Dette skyldes at i dagens situasjon ligger Punkt 2 i sirkulasjonsstrømmen (svak sørlig strøm). Med utfylling forlenges strålen fra Bragernesløpet slik at den treffer Punkt 2. Figuren viser at de øvrige fem punktene stort sett er.



Figur 6-3 Strømfart og –retning i seks kontrollpunkter i fjorden, Q=1000 m3/s (simulering av ferskvannslaget)  
 Øverst: dagens situasjon  
 Nederst: Etter utfylling.



### 6.3 Konsekvenser - kontrollpunkter på støttefylling

Figur 6-4 viser samhørende verdier av strømfart og –retning; øverst dagens situasjon og nederst med utfylling. Lokaliteten er i dette tilfelle den horisontale del av støttefyllingen som kommer til å ligge på 30 m dyp (dybde etter utfylling). Punktene er benevnt UF1-UF5 på de forutgående kartfremstillingene av strømfart. Punkt UF1 ligger lengst nord og punkt UF5 lengst sør. Formålet med denne fremstillingen er ikke å belyse om det noen påvirkning, men undersøke påvirkningens art. Så tett på utfyllingen er det innlysende at påvirkningen vil være betydelig.

Når man sammenligner dagens situasjon (øverst) med utfylling (nederst), ser man at de tre nordligste punktene UF1-UF3 opplever økt strømfart, fra rundt 1-2 cm/s til fra 4 til 10 cm/s. Dessuten dreier retningen fra rundt sørlig til mer mot østlig.

De to sørligste punktene, UF4-UF5, derimot opplever en reduksjon av strømfarten med en faktor 3. Det skyldes at det i noen grad danner seg en strømskygge rett nedstrøms for fyllingen. Ved punkt UF4 (gul) dreier for øvrig retning motsatt tre nordligste punktene: fra rundt ØNØ (60 gr) til sørlig (190 gr).

Sammenfattende ser man at farten i de fem punktene under ett ligger innen samme intervallet som før utfylling; det er mer snakk om bytting punktene i mellom. Den største forekommende farten (i punkt UF5) er dog redusert med en faktor 3.

De fem punktene ligger nær støttefyllingens østlige kant. Sjøbunnen vest for de fem punktene består altså også av ny støttefylling (20 m vanddybde). De beskrevne strømningsmessige konsekvensene vurderes derfor å være uproblematisk.



Figur 6-4 Strømfart og -retning i 5 kontrollpunkter på fyllingen, Q=1000 m<sup>3</sup>/s (simulering av ferskvannslaget)  
 Øverst: dagens situasjon  
 Nederst: Etter utfylling.

#### 6.4 Konsekvenser i forhold til rasfare på bredder.

NVEs nettdatabase *skrednett.no* viser at det i løpet av det 20. århundre har vært flere skredhendelser nær Holmen, hvorav i hvert fall én (1965) på den sørlige bredden av Strømsøløpet. Informasjonene hos NVE angir at skredet var et leirskred. Skredets beliggenhet er vist i Vedlegg 5. *skrednett.no* angir også andre skredhendelser i nærhet av Holmen som skal ha vært undervannsskred.

I følge lokale kilder er det trolig feil stedsangivelse for skredet i 1965. Multiconsult mener at dette skredet ligger som vist i Vedlegg 5. I omtalen av skredet i 1965 heter det i beskrivelsen på skrednett «*ein gravemaskin vart også teken av raset*». Dette tyder på at raset er utløst på grunn av utfyllingsarbeider på bløt grunn, uten foregående grunnundersøkelser eller prosjektering av tiltak.

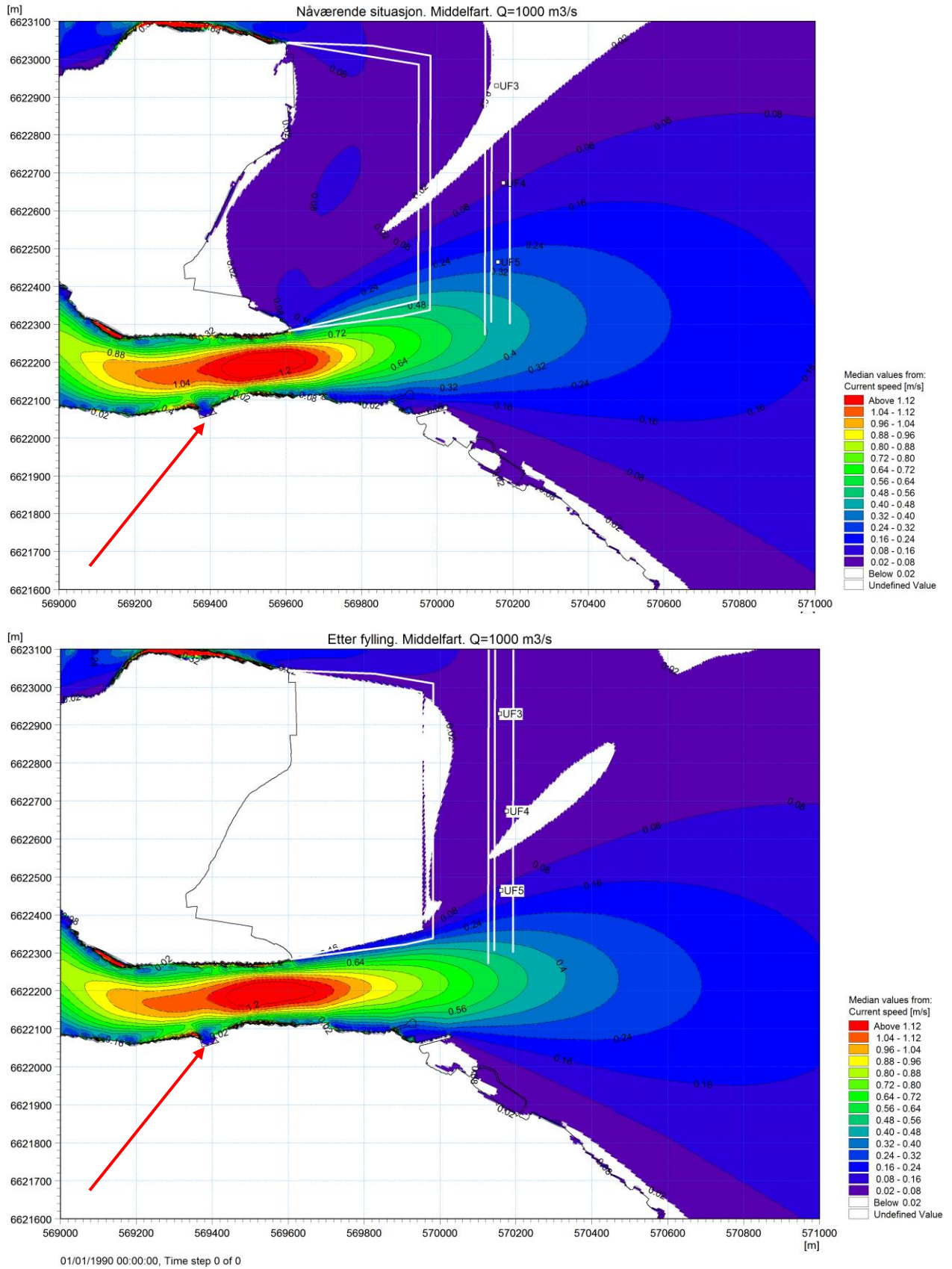
De historiske skredene som har forekommet, har derfor dels en geologisk/geoteknisk årsak, og dels en årsak i manglende kompetanse og kunnskap om grunnforholdene i området. Så lenge de geologiske forholdene har skapt en situasjon med lav sikkerhetsfaktor, kan selv små menneskelige inngrep i strandsonen få store konsekvenser

Dessuten er det informasjon fra en tidligere studie av fjordbunnen utført av NGU (ref. /11/) som viser spor etter tallrike skred. Det kan sammenfattende sies at strandsonen ved søndre elvebredd generelt virker utsatt for skred, og at i hvert fall deler av området har forhøyd risiko for (stedvis kvikk-) leirskred. Lommer og mindre områder med kvikkeleire forekommer der marin leire får gjennomstrømning av ferskt grunnvann slik at leiren over tid mister saltinnholdet, og strukturen blir ustabil.

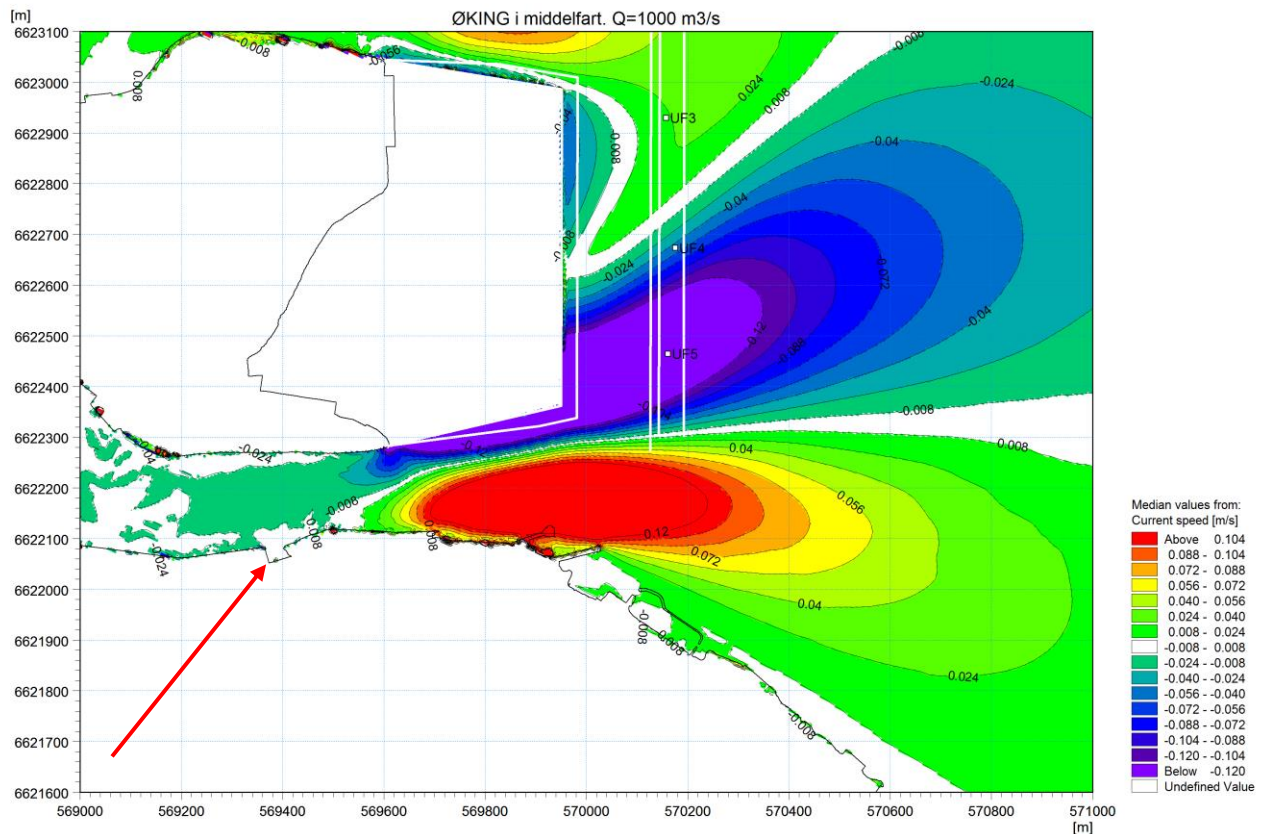
Selv om det ikke er indikasjoner for at de nevnte skredene er utløst av hav- eller strøm, er det likevel viktig å undersøke om de strømningsmessige konsekvensene kan øke risikoen for skred. For å kaste lys over de strømningsmessige konsekvensene er det utarbeidet et mer detaljert kart over strømfart og dens økning etter fylling, Figur 6-5. Lokaliteten der 1965-skredet skal ha funnet sted er angitt med en rød pil på figuren (og med blå pil i Vedlegg 5).

Figur 6-5 øverst viser strømfart i dagens situasjon mens nederst viser situasjonen etter utfylling. Man ser at sonen med de største hastighetene (rundt 1,2 m/s) er stort sett uforandret, hvilket avspeiler at det trangeste partiet fortsetter å være ved Risgarden. Det er derimot de mindre hastighetene som øker etter utfylling; f.eks. den gule sonen (0,88-0,96 m/s) flytter seg rundt 100 m ut i fjorden.

Figur 6-6 viser forskjellen (økningen) i strømfart mellom nå og utfylling. Blåfarger viser en reduksjon og rødlige farger en økning. Den hvite båndet mellom blålige og rødlige farger tilsvarer ingen endring av strømfart. Det hvite båndet (=ingen økning) sammenfaller til dels med sonen med høyest hastighet, kort nedstrøms for 1965-rasstedet. Figur 6-6 viser at størst økning av strømfart finner sted i området rett nord for «Slippen»; størst økning i dette området er i størrelsesorden 0,2 m/s midt ute i sundet, mens nærmere breddene er økningen i størrelsesorden 0,1 m/s. De absolutte hastighetene i dette området er rundt 0,3—0,7 m/s, nær breddene. I hvilken grad denne økningen utgjør en risiko for breddenes geotekniske stabilitet er behandlet i Kapittel 8.



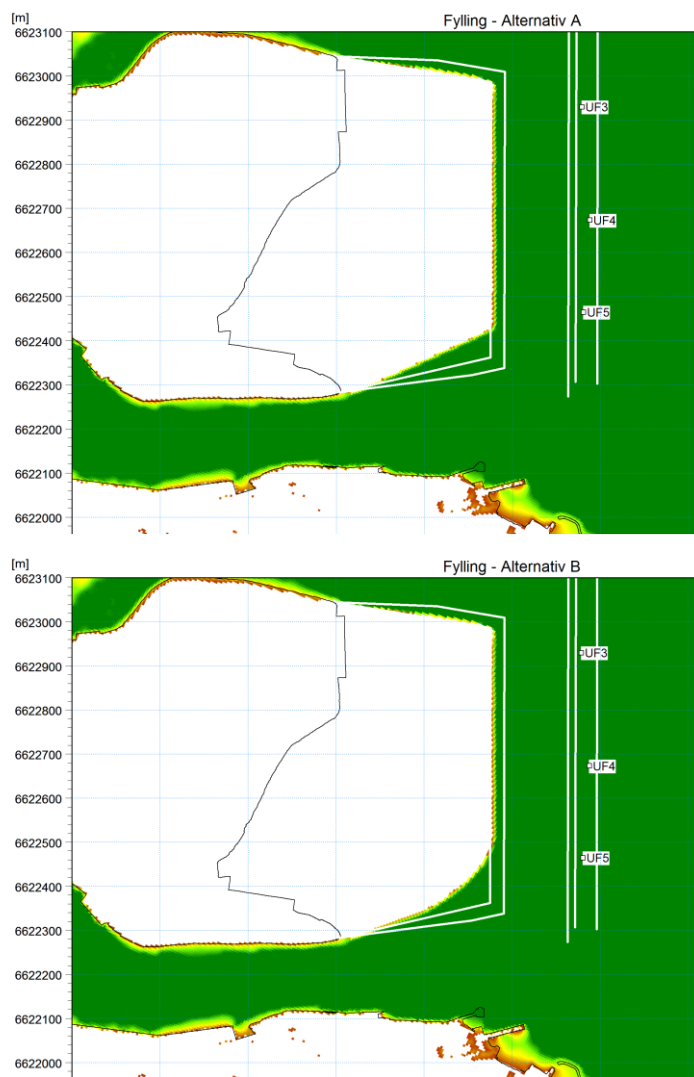
Figur 6-5 Detaljert bilde av strømfart nær Tangen. Tidligere rassted vist med pil.  
Øverst: dagens situasjon. Nederst: etter utfylling.



Figur 6-6 Detaljert bilde av økning av strømfart etter utfylling. Tidligere rassted vist med pil.

## 7 Avbøtende tiltak

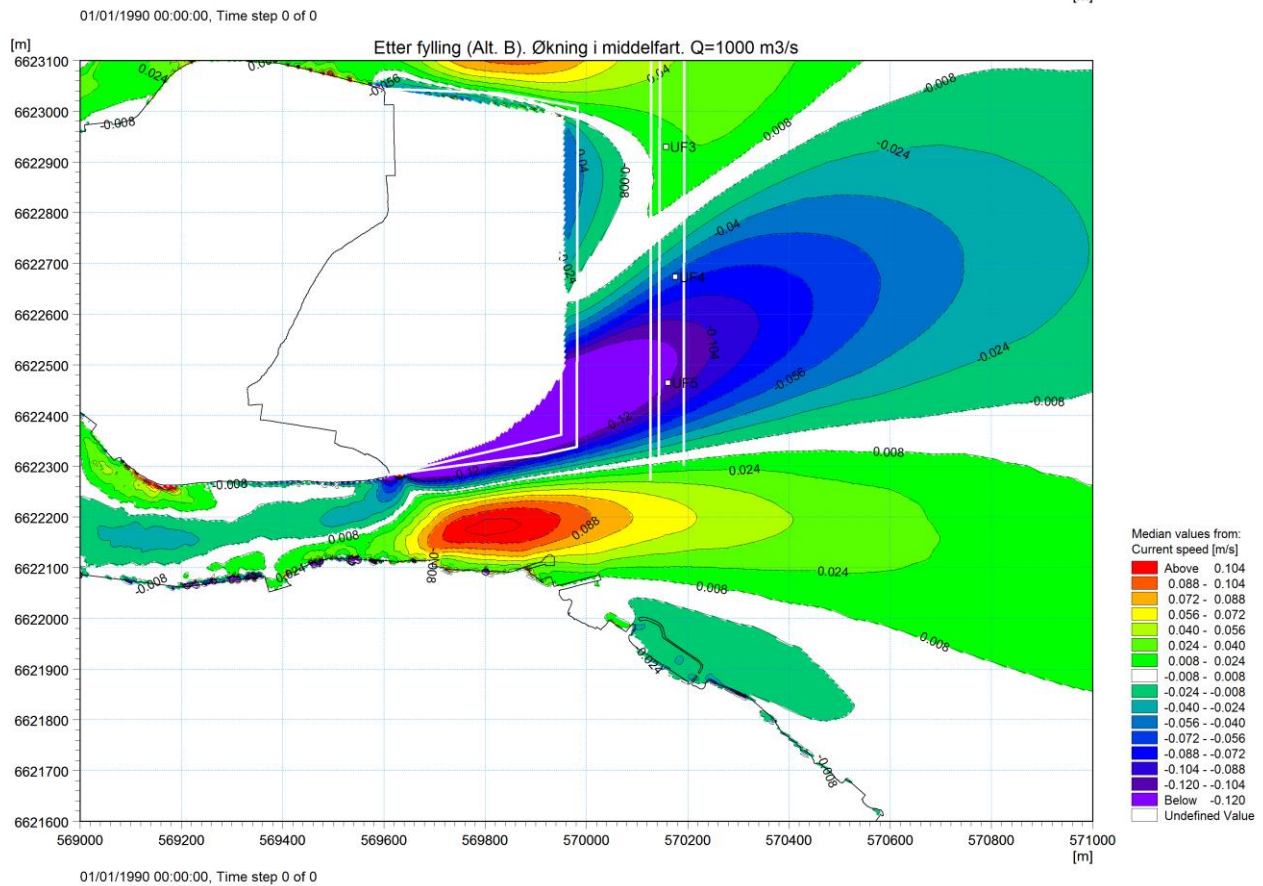
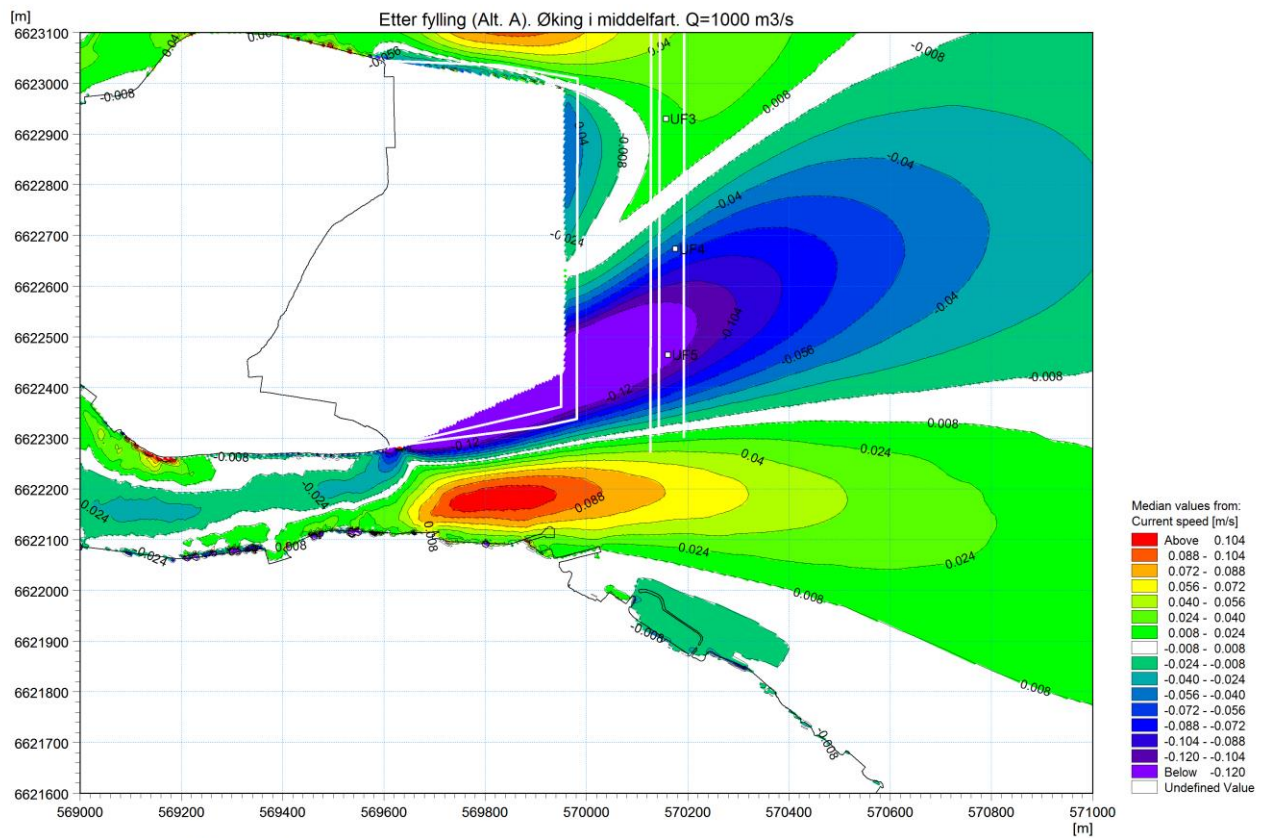
De potensielt negative konsekvensene mht rasfare som er avdekket i det forutgående avsnittet skyldes økningen av strømfart. Denne økningen skyldes at utfyllingen forlenger det trange partiet og slik presser strømmen inn mot et rasutsatte området, sammenlignet med dagens situasjon. Det er derfor undersøkt om det er mulig å redusere denne effekten ved å gi fyllingen en annen form. Det er sett på to alternativer til det foreliggende forslaget; en mild revisjon og en mer vidtgående. Den milde formen (A) har som i det foreliggende forslaget en rettlinjert sørlig avgrensning, men denne er dreid mer mot nordøst, slik at det blir bedre plass for strømmen til å brede seg ut. Det mer vidtgående alternativet (B) tar utgangspunkt i (A), men bøyer av den sørlige avgrensningen slik at man unngår det «skarpe» hjørnet og får en mer hydrodynamisk form på fyllingen. Begge alternativene er vist under.



Figur 7-1 Avbøtende tiltak A og B: alternative utforminger av fyllingen.

Figur 7-2 viser økning i strømfart hvis utfyllingen gis en alternativ utforming. Den øverste figuren viser det «mildeste» alternativet, Alt. A, der fyllingens sørlige begrensningen fortsatt er en rett linje, men dreid mer mot nordøst. Den gunstige virkningen er tydelig: sonen med stor fartsøkning er nå betydelig mindre og slutter nå et godt lengre vest enn det utsatte området. Mens sonen med størst økning ( $<0,12$  m/s = rød) så å si var i berøring i med piren ved pila, i beregningen av «standard»-utfyllingen, da er det nå det minste av fargeintervallene som er i berøring med piren: 0,008-0,024 m/s, altså en lokal reduksjon på faktor 5 eller mer. Grunnen til at effekten er så stor er dels at sundet er bredere slik at strømmen får mer plass – hvilket bringer hastigheten ned generelt – dels at strømmens retning dreier seg litt mot nord slik at strømmen i mindre grad presses mot sørkysten. Sistnevnte medfører mindre lokal fart ved det rasutsatte området.

Nedre del av Figur 7-2 viser fartsøkning med det mer vidtgående alternativet, Alt. B, der fyllingens sørøstlige har fått en avrundet form. Figuren viser at noe virkning kan identifiseres i form av mindre utbredelse av fartsøkning; den gule horisonten 5,6-7,2 cm/s rykkes nå ca. 100 m tilbake (vest). Likevel vurderes det at tilleggseffekten ift. alternativ A er marginal.



Figur 7-2 Økning i strømfart etter utfylling MED avbøtende tiltak.  
Øverst alternativ fylling A. Nederst alternativ fylling B.

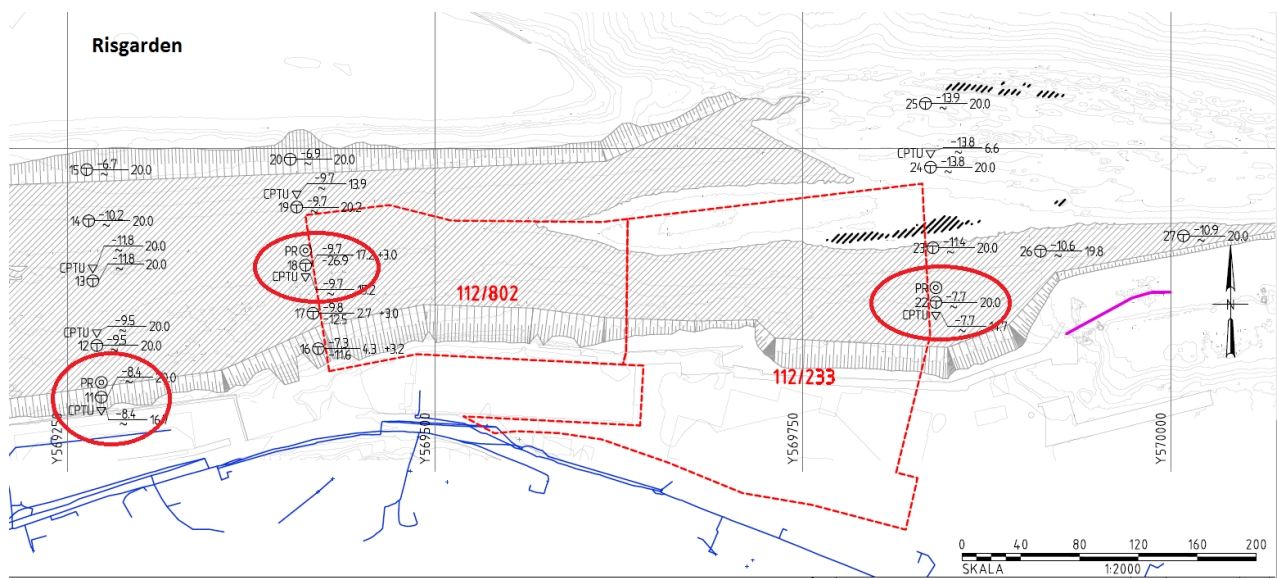
## 8 Geotekniske undersøkelser i Strømsløpet

På oppdrag fra Kystverket har Multiconsult i 2016 foretatt geotekniske undersøkelser i Strømsløpet. Undersøkelsene hadde til formål å skaffe til veie geotekniske data for prosjektering av en mulig mudring av Strømsløpet øst for E18 og ut til dagens elvemunning. Samtidig er det også foretatt prøvetaking av sedimenter for analyse av evt. forurensede sedimenter på elvebunnen.

Alle boringene og prøvetaking til vanns er utført med en av Multiconsults spesialfartøyer for slike undersøkelser, Borecat, som til vanlig er stasjonert i Tromsø.

I øyeblikket er vår leveranse til Kystverket begrenset til en datarapport, som ennå ikke er ferdigstilt, men Kystverket har stilt alle rådata til disposisjon for Drammen havn, altså inkl. de nyeste fra 2016.

I utløpet av elva er det foretatt undersøkelser i tre snitt på tvers av elven.



Figur 8.1 Utsnitt av borplan for Kystverket, Multiconsult tegning nr. 814617-RIG-TEG-001. Den viktigste informasjonen her er at boringer merket T, totalsonderinger (boringer for å påvise lagdeling av løsmasser), og PR som markerer punkt med prøvetaking, her markert med røde ringer. Skravert areal på kartet viser deler av elvebunnen som ligger høyere enn kote -11, hvor det etter planen er ønskelig å mudre. (NB mudringen er ikke vedtatt eller prosjektert, og undersøkelsene har kun til hensikt å skaffe nødvendige data for å kunne gjøre beregninger av stabilitet mot land på begge sider av elveløpet. Framtidige beregninger kan enten bekrefte eller avkrefte om en slik mudring er mulig).

### 8.1 Erosjon av løsmasser i elva

Som borplanen viser, er det tatt opp prøver ved ett punkt i hvert av de tre profilene nærmest fjorden, ved borhull 11, 18 og 22. Prøvebeskrivelser og kornfordelingsdiagrammer på sedimenter fra den øverste meteren av løsmassene er vist i vedlegg 6.

Hastighetsøkningen fra før til etter ferdig utfylling i et snitt i like vest for hull 18, er beregnet til ca. 0.1 m/sekund.

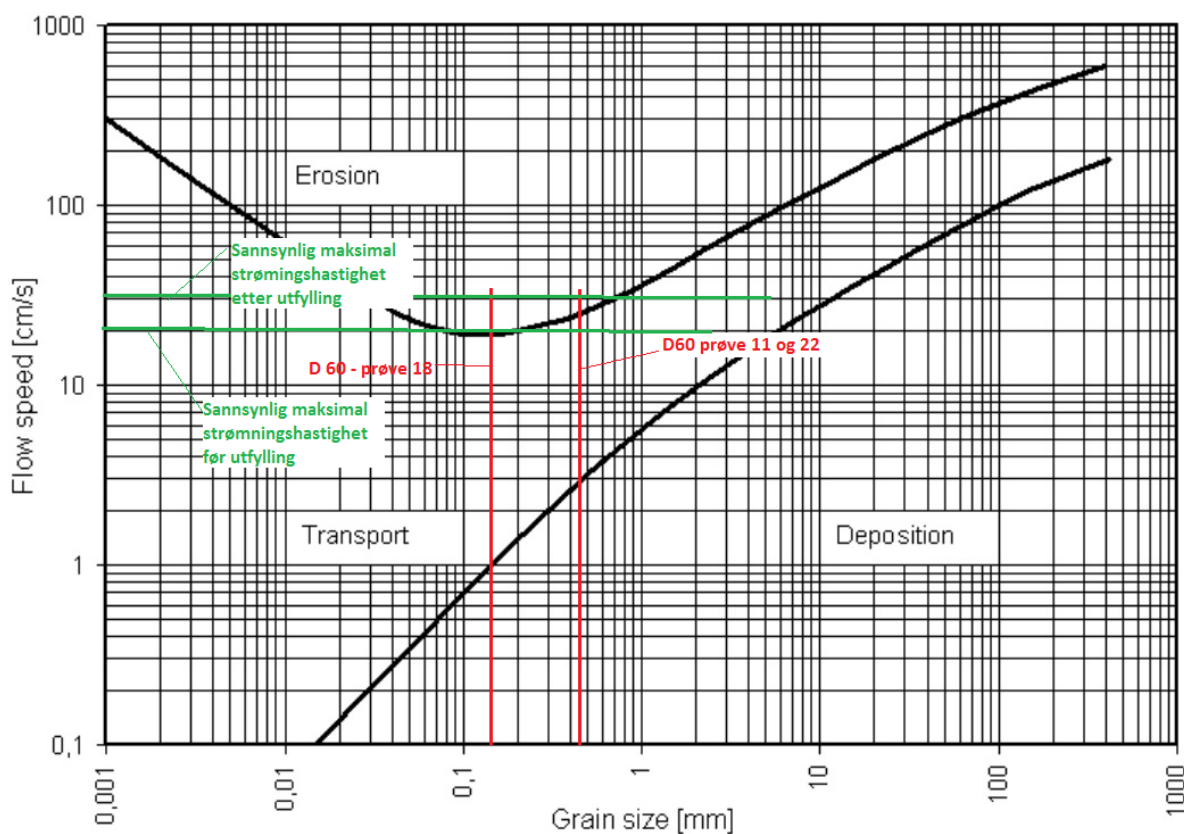
Absolutt hastighet etter utfylling er beregnet til mellom 0,3 og 0,7m pr sekund ved flom på 1000 m<sup>3</sup>/sek.



Tabellen nedenfor oppsummerer data fra prøveopptak fra 2016 og kornfordelingsdiagrammer:

Borpunkt nr	Kote topp borhull	Materialbeskrivelse 0,2 - 1m dybde	D10, mm	D60, mm	C <sub>u</sub> , sorterings- tall D60/D10
11	-8,4	Sand	0.0773	0.4308	5.6
18	-9,7	Sand, siltig, m. treflis	0.0093	0.1597	17.2
22	-7,7	Sand	0.1687	0.4261	2.5

Transport, erosjon og avsetninger i elver beskrives ofte ved hjelp av Hjulstrøms diagram som i hovedsak er empirisk utledet.



Figur 8.2. Hjulstrøm/Sundborg diagram. (Idaho State University/Wikipedia.com, nettside besøkt 05.09.2016). D<sub>60</sub> kornstørrelser (60% av massen har mindre kornstørrelse enn D<sub>60</sub>) for sedimentene er vist som vertikale linjer i diagrammet.

Beregnete vannhastigheter i flom er vist som horisontale linjer i diagrammet. Utfyllingen gir en beskjeden økning av vannhastigheten i flom.

Kornfordelingskurvene i vedlegg 6 viser at så nær som de finkornede prøvene fra hull 18 tatt fra kote -9.7, inneholder sanden også partikler opp til 1 mm.

Som diagrammet i figur 8.2 viser er en balanse mellom transport av løsmasser i vann, erosjon og avsetning av sedimenter avhengig av vannhastigheten.

Vår vurdering er at erosjonen ikke kan bli så omfattende at den undergraver elvebredden i tilstrekkelig omfang til i seg selv å utløse noen utglidninger i strandsonen. Etter en tids erosjon vil ellevannet vaske fram en naturlig «erosjonsbeskyttelse» av mellomgrov sand.

Det er sannsynlig at de finkornede massene som vi har tatt prøver av, er sedimentert lokalt etter siste storflom, eller at flommen da ikke klarte å trykke ut saltvannskilen helt ned til kote -9.7 der prøven ved pkt. 18 er tatt opp. Under saltvannsgrensen er vannhastigheten lite innvirket av flomforholdene, og sedimentene skjermes mot erosjon.

## 8.2 Stabilitet av elvebreddene

Mot Holmen i nord er det ikke påvist finkornede sedimenter med lav skjærstyrke. Elvebredden består her av sand dekket med steinmasser.

Ingen av prøveseriene ved boring 11, 18 og 22 som er tatt opp i elvebunnen viser svært dårlige grunnforhold eller kvikkleire. De foreliggende data utelukker at det kan oppstå store ras.

Ved hull 11 og 18 er det 5 og 3 m sand over siltig leire og ved hull 22 som ligger ute i nåværende deltaavsetning, er det sandige masser til mer enn 10 m dybde.

Alle nye tiltak i strandsonen, inkludert evt. nye mudringsarbeider i elva, må prosjekteres og utføres i hht. NVEs retningslinjer 7-2014, som krever en beregningsmessig sikkerhetsfaktor  $> 1.4$ , eller en forbedring i forhold til dagens situasjon.

Det foreligger en rekke rapporter og tegninger som viser fundamentering og geotekniske forhold til de fleste av disse bygningene. De fleste bygningene som nå står i strandsonen i dette området, er pelefundamentert til fjell. For evt. videre arbeider mht. stabilitetsvurderinger av elvebredden etter mudringsarbeider, vil kontroll med fundamentering av bygninger langs strandsonen i sør være svært viktig.

## 9 Diskusjon

### 9.1 Sammenligning med tidligere studier

Det er tidligere utarbeidet en strømningsmodell for Drammensfjorden av DNV/NGI for utredning av forurensningsspørsmål. Modellen, samt hydrografiske målinger er dokumentert i to rapporter (DNV/NGI 2011; NGI 2012). Modellen er i 3 dimensjoner og omfatter for øvrig et mye større område enn nærværende modell, ettersom DNV/NGI-modellen inkluderer Svelviksundet og noe av den ytre fjorden.

Vedlegg 1 viser bilder av strømningsmønsteret fra (DNV/NGI, 2011). Den interessante observasjonen i denne sammenhengen er at figuren bekrefter strømningsmønsteret fra våre beregninger, herunder sirkulasjonen som er omtalt tidligere, altså en svak motsols (vestlig) bevegelse langs fjordens nordlige ende og at strømmen fra Bragernesløpet renner inn i denne sirkulasjonen i en høyresving.

Det er imidlertid avvik mellom modellene i større avstand fra Drammen by; mens den utovergående hovedstrømmen av ferskvann går nærmere fjordens vestbredd i vår modell, går den nærmere fjordens østbredd hos DNV/NGI. Sistnevnte kan godt være mer korrekt, men dette kan tillegges mindre vekt ettersom dette er i trygg avstand fra Holmen.

DNV/NGI-modellen gir videre et godt bilde av lagdelingen i fjorden. Ferskvannslaget tykkelse ligger omkring 3-7 m. Strømningshastigheten i ferskvannslaget er vesentlig høyere enn i dypet. Det er vist et (vertikalt) hastighetsprofil fra *nærheten til Drammenselvas* utløp (Vedlegg 2) for et tidspunkt med vannføring omkring 300 m<sup>3</sup>/s i Drammenselva; dette viser hastigheter fra 2 til 18 cm/s i ferskvannslaget (ca. 5 m tykt) med en middelhastighet for ferskvannslaget rundt 10 cm/s. Denne kan *til en viss grad* sammenlignes med simuleringsresultatene for ferskvannslaget, som er vist på Figur 9-1 som gjelder tilsvarende elvevannføring. For punktene 1 og 4-5-6 er farten noe mindre (i snitt noe under halvparten), men disse punktene ligger også stort sett et godt stykke unna elvemunningen. Man kan derfor si at de er i tråd med dataene fra DNV/NGI. Punktene 2 og 3 ligger for øvrig, i vår modell, på vesentlig lavere strømfart, ettersom de ligger i bakevjen i den nordligste del av fjorden.

I det 30-35 m tykke bunnlaget under sprangsjiktet ligger hastigheten rundt 1,3 cm/s. Som *middel over hele dybden* tilsvarer de viste hastighetene ca. 2,5 cm/s og er dermed i tråd med resultatene fra den 2-dimensjonale modellen for Holmen. For øvrig kan det noteres at DNV/NGI-modellen viser at strømhastighetene i ferskvannslaget er en størrelsesorden større enn i dyplaget.

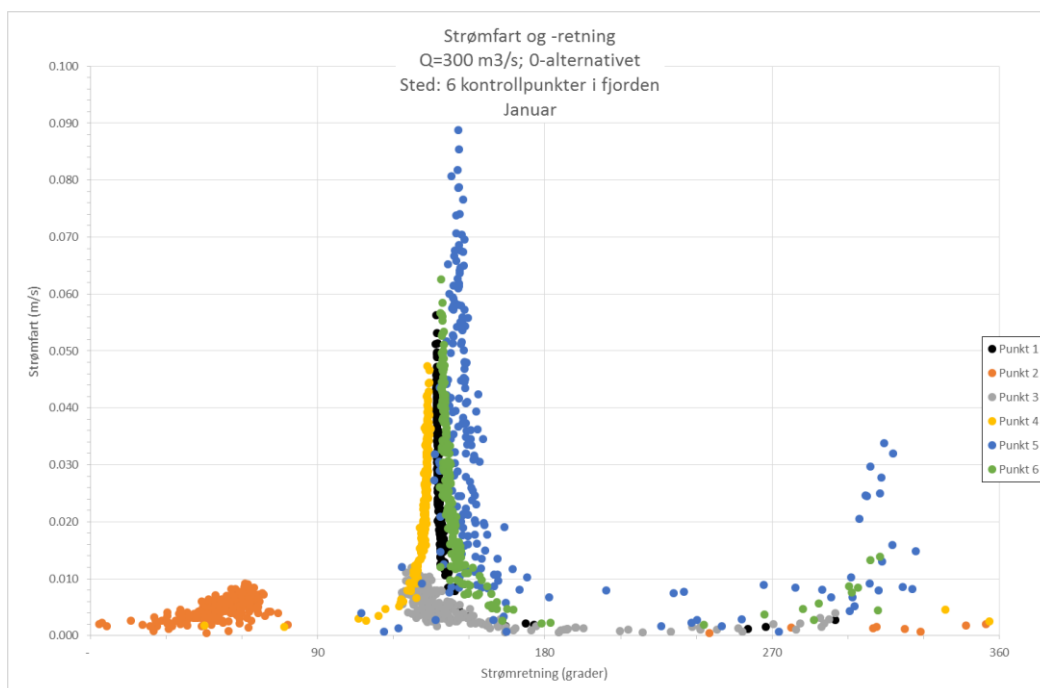
### 9.2 Syntese

I det foregående er det presentert resultater av modellering, både for en dybdemidlet modell og for en modell som simulerer ferskvannslaget isolert. Kvantitativt er det en stor forskjell i simulert strømfart, hvilket avspeiler at dybden i fjorden er mye større enn ferskvannslagets tykkelse. *Kvalitativt* er strømningsmønsteret relativt likt i begge modellene. Det gjelder også mht konsekvenser av utfylling og konsekvensene utbredelse. Det er stort sett samsvar mellom modellene om følgende:

- Den største økningen av strømfart skjer i den nåværende elvemunningen, som vil lukkes inne i Strømsløpets forlengelse. Her er det en betydelig fartsøkning. De største hastighetene i løpet økes imidlertid ikke, ettersom utfyllingen ikke berører det trangeste partiet der hastighetene er størst.
- På østsiden av den kommende utfyllingen er det en tydelig endring av strømmingens fart og retning, men ikke dramatisk.
- Det er påvist at de geotekniske forholdene er slik at beregnet økt strømfart ikke utgjør et problem for stabiliteten av elvebredd/fjordbredd.

I tillegg er det undersøkt ved hjelp av ferskvannmodellen effekten av avbøtende tiltak i form av en alternativ utforming av utfyllingen. Det ble funnet at selv en moderat omforming av fyllingen hadde en gunstig effekt med hensyn til å redusere strømfarten nær Strømsløpets sørside. I lyset av det siste av kulepunktene over, kan dette synes å ha akademisk interesse, men av praktiske grunner ble modelleringen utført før den geotekniske undersøkelsen forelå.

Akkurat i overgangen elv/fjord er det viss usikkerhet mht hvilken av de to modellene som er mest realistisk, i hvert fall når det gjelder flomsimuleringen ( $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Det antas at saltvannskilen presses ut av Drammenselva under flom, og der kilen ikke lenger er til stede vil den dybdemidlede modellen antageligvis gi den beste fremstillingen. Vanskeligheten er å anslå hvor langt saltvannskilen presses ut; antageligvis ligger dette stedet i nærheten av elvemunningen og dermed nær stedet med størst (beregnet) endring av strømfart. Såfremt saltvannskilen ikke lenger er til stede ved Tangen, vil strømhastighetene være mindre enn det som har vært sitert, pga større strømningsstverrsnitt.



Figur 9-1 Strømfart og retning i 6 kontrollpunkter i fjorden. Dagens situasjon. Simulering for ferskvannslaget.

### 9.3 Konsekvenser mht sedimentasjon

Det er ikke utført beregninger mht sedimentasjonsforholdene og spørsmålet er kun vurdert kvalitativt.

I området der Drammenselva i dag renner ut i fjorden og strømfarten går ned skjer det en viss sedimentasjon. Multiconsult er ikke i besittelse av kvantitative data på dette feltet, herunder sedimentkonsentrasjon i ellevannet samt tykkelse og utbredelse av naturlige sedimentavleiringer i deltaområdet. På generell basis antas det at sedimentkonsentrasjonen i ellevannet ikke er spesielt høy, men i geologisk tidsskala er det rimelig å anta at sedimentasjonavleiringen kan ha et fått et stort omfang.

Når Holmen bygges ut og de trange løpene forlenges ut i fjorden, er det rimelig å anta at sedimentavleiring i fremtiden vil skje lengre ute i fjorden, antageligvis like mye lengre ut som fyllingen er lang i øst-vest retningen, altså ca. 500 m. Tilsvarende er det mulig at de sedimentene som pr i dag ligger utenfor elvemunningen, kan resuspenderes i kraft av lokal økning av strømfarten. Disse vil så

antageligvis suspenderes noe lengre ute i fjorden på samme måte som sedimentene som elven har transportert fra områder lengre oppstrøms.

Det er i det følgende gjort rede for at det i noen grad kan gi en mer korrekt forståelse av strømningsmønsteret om man ser på ferskvannslaget isolert i stedet for å anlegge en dybdemidlet betraktning over hele vannsøylen. Gitt at ferskvannslaget normalt utgjør de øverste ca. 5 m av vannsøylen er ikke resuspensjon fra bunnlaget et aktuelt tema. Imidlertid er det gode indikasjoner på at saltvannkilen presses ut (av Drammenselva) i fjorden under flom. Ettersom både sedimentasjon og re-suspensjon etter all sannsynlighet spiller størst rolle under flom, kan man derfor tillate seg å se bort fra lagdelings-problematikken i denne sammenhengen.

Sammenfattende kan man si at utbygningens konsekvenser mht sedimentasjon forventes å være en flytning lenger ut i fjorden både av ny sedimentering og – i en overgangsperiode - av sedimenter som allerede ligger i den nåværende elvemunningen/deltaet

#### 9.4 Anleggsfasen

Konsekvensene som har vært vurdert i det foregående er de som følger utfyllingens endelige form, noe som kan ligge opp til flere tiår ut i fremtiden. Det ligger i sakens natur at utfyllingens form i hele anleggsfasen vil ta opp mindre plass i elvemunningen enn den endelige formen som har blitt modellert. Følgelig vil de strømningsmessige konsekvensene i anleggsfasen være mindre enn det som har blitt beskrevet her.

#### 9.5 Mer detaljerte undersøkelser

Ett av formålene med utredningen var å vurdere behovet for mer detaljerte undersøkelser, særlig en 3-dimensjonal modellering, sett i lyset av begrensningene i 2D-modellering. Eventuell 3D-modellering ville være betydelig mer krevende enn den gjennomførte analysen, ikke minst når det gjelder behovet for inndata, særlig med henblikk på vertikal densitets- og -hastighetsfordeling. På grunnlag av resultatene som har vært presentert og vurdert i det foregående, konkluderes det at det er overveiende sannsynlig at konsekvenser av utfyllingen er meget lokale. Det ses derfor ikke et behov for supplerende undersøkelser med 3D-modellering.

#### 9.6 Strømmålinger

Det bør nevnes at det i løpet av sommeren 2016 utføres strømmålinger i Strømsløpet, i regi av Kystverket. Resultatet av disse ville hatt stor verdi for kalibrering av modellen vår, men tidsrammen tillot ikke å avvente disse målingene. Det hadde imidlertid vært ønskelig å kunne ta i bruk disse målingene, som ville kunne kaste lys over strømmens fart og retning, og over spørsmålet om lagdeling.

## 10 Forurensede sedimenter

Strømningsmodelleringen konkluderer med at strømforholdene ut i Drammensfjorden ikke endrer seg vesentlig ved videre utfylling. Det er modellert en teoretisk økning av strømfarten, som vist i Figur 6-1 (gjelder normal vannføringssituasjon) og Figur 5-2 (gjelder ved middelflom, hvor det er antatt at saltvannslaget presses ut og ferskvannslaget når helt til elvebunnen). Økningen begrenser seg til 2 lokale delområder i Bragernesløpet og Strømsølløpet, og manifesterer seg i ferskvannslaget, dvs. teoretisk til vanddybder på opptil 7 m. I dypere liggende vannlag i fjorden vil strømningsbildet være uendret fra dagens forhold, dvs. saltvannet ligger i ro.

Endrede strømningsforhold kan teoretisk medføre økt bunnerosjon av finsediment innenfor arealer med økt strømfart som ligger grunnere enn 7 m dypde. Med henvisning i figurene 6-1 og 5-2 gjelder dette et område på ca. 10 000 m<sup>2</sup> i Bragernesløpet, sør for utfyllingsområdet på Lierstranda (jf. Figur 10-1), og et mindre område ved Tangenbakken i Strømsølløpet, jf. Figur 10-2).

Generelt er miljørisikoen i forbindelse med erosjon i forurensede sedimenter knyttet til:

- Spredning av forurensede sedimentpartikler til mindre forurensede områder.
- Avdekking, eksponering og økt bio-tilgjengelighet av dypere, forurensede sedimentlag.
- Reversering av naturlig tildekking av forurensede sedimenter med rene elvededimenter.

Strømningsmodelleringen gir ikke svar på hvor dyp erosjon som det må påregnes å bli som følge av utfyllingen, men den vil innebære en mekanisk sortering av bunnsedimentene, slik at bunnsedimentet etter hvert blir mindre eroderbart.

Sedimenter med høyt finstoffinnhold har som regel et høyere forurensningspotensial enn grove sedimenter. Fine partikler transporteres også lengre i vannmassene før de re-sedimenterer på sjøbunnen enn grove.

Forurensningstilstanden i sedimentene rundt Holmen er nærmere beskrevet i Multiconsults notat 814203-RIGm-NOT-002.

### ***Delareal i Bragernesløpet***

Vi kjenner kun til ett prøvepunkt fra 2013 på det aktuelle området med økt erosjonsrisiko i Bragernesløpet, med to prøver av sediment fra 0-5 cm og 10-20 cm dyp. Sedimentene beskrives på ca. 6 m vanddybde som fine, med kornstørrelse < 63 µm rundt 55 % og et TOC-innhold på ca. 3-4 % TS. Tørrstoffinnholdet ble målt til ca. 45 %. Sedimentene nærmere land (på vanddybde ca. 3 m) er imidlertid registrert å være mer sandige og ha en lavere finstoffraksjon (ca. 30 % < 63 µm).

Det var relativt lave konsentrasjoner av tungmetaller og PCB7 i de to sedimentprøvene. Sedimentkvaliteten dypere enn 20 cm er ukjent. Miljøkvaliteten bestemmes av PAH-innholdet, som ligger i kvalitetsklasse IV (dårlig), jf. Miljødirektoratets veileder TA-2229 "for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann". Det ble også påvist et visst innhold av oljerelaterte stoffer. Prøven ble ikke analysert for TBT.

Landområdet nord for prøvepunktet (jf. figur 9-1) er utfyllt i sjøen før 2003, og i 2010 ble strandlinjen opparbeidet ytterligere med strandpromenade og tilkjørt ren sand. Som følge av dette kan det antas at de grunne sedimentene består av tilkjørt, rene masser, mens finstoff- og forurensningsinnholdet gradvis øker mot 5 m dypde.

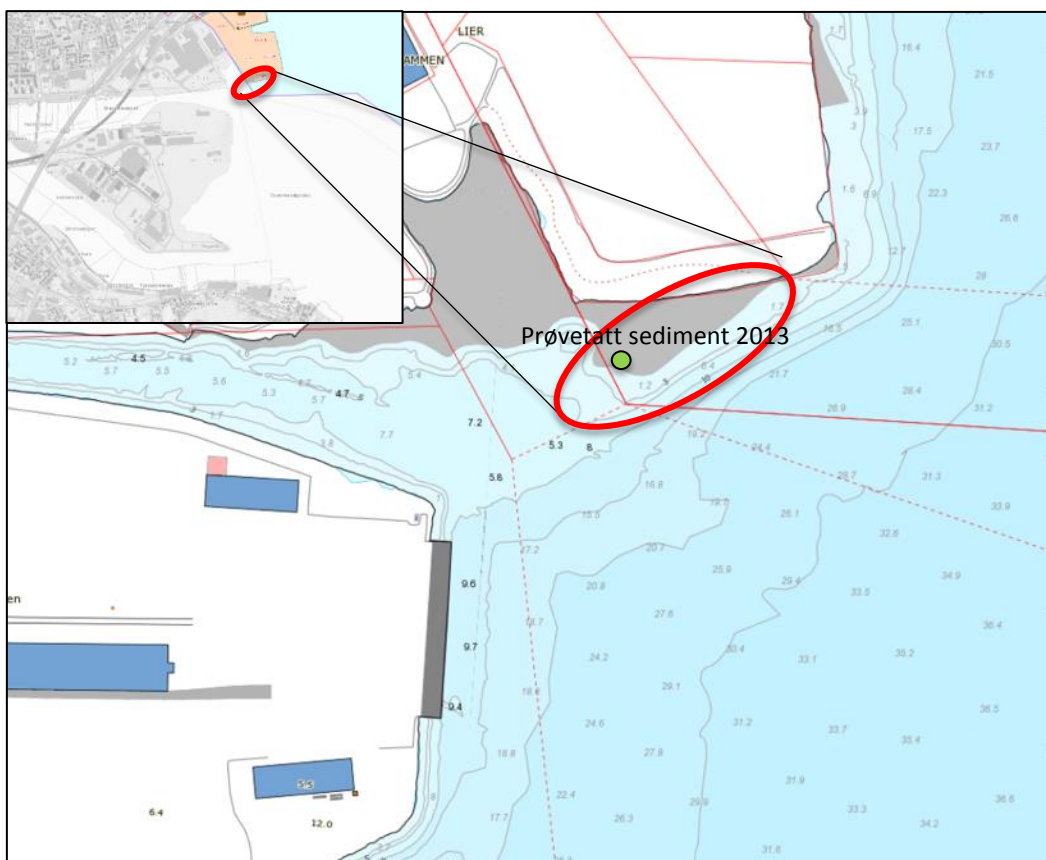
Andre sedimentprøver utenfor aktuelt delområde i Bragernesløpet har vist god gjennomsnittskonsentrasjon av metaller og PAH (kvalitetsklasse II) og moderat miljøkvalitet for PCB (klasse II – III). Det

er ellers analysert noen prøver som har hatt en gjennomsnittskonsentrasjon for TBT i miljøklasse I (bakgrunnsnivå).

Økt erosjon synes ut fra dette å kunne medføre en tidsbegrenset spredning av moderat forurensede sedimenter. Sedimentene vil da avsettes lenger ut i fjorden, på sjøbunn hvor det er målt tilsvarende miljøgiftkonsentrasjoner som i erosjonsområdet.

Erosjonsforholdene i det ytre Bragernesløpet vil også i stor grad bestemmes også av bølgepåvirkning, springflo og årlig vårflo.

Ut fra foreliggende kunnskap konkluderes det med at noe økt erosjon i det ytre Bragernesløpet (jf. Figur 10-1) vil ha liten betydning for miljøtilstanden i sedimentene ellers i Indre Drammensfjord.



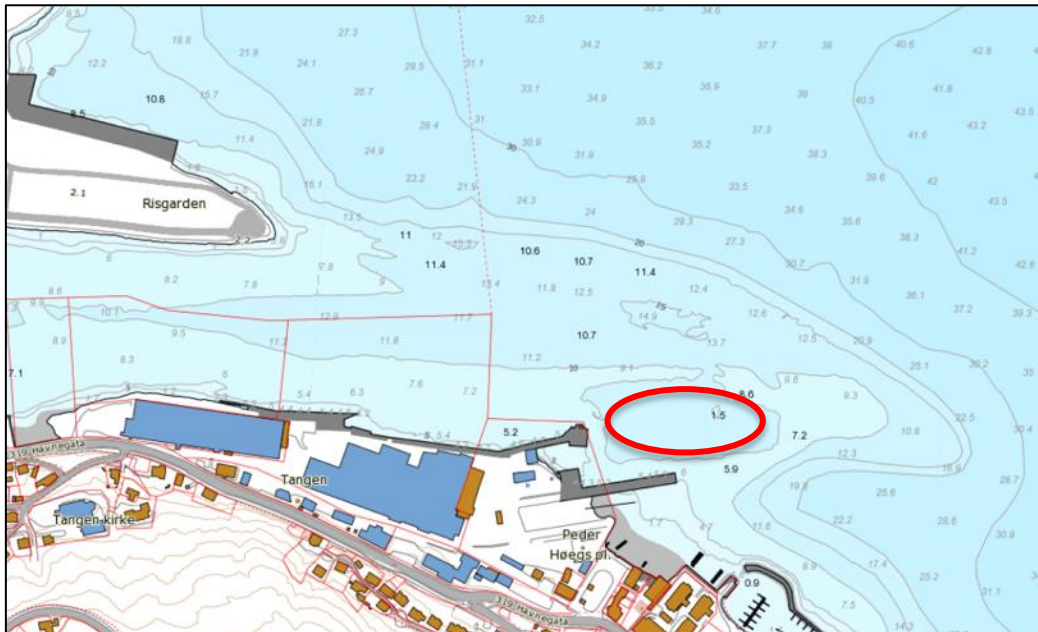
Figur 10-1 Rød sirkel viser et område i Bragernesløpet hvor det muligens blir økt erosjon ved videre utfylling på Holmen.

### **Delområde Tangenbakken**

På Tangenbakken i ytre Strømsløpet viser også strømningsmodelleringen at videre utfylling på Holmen kan gi en tidsbegrenset økning i strømfart og erosjon knyttet til ferskvannslaget ned til 7 m dybde.

Sedimentene i Strømsløpet generelt er undersøkt over flere år. De nyeste undersøkelsene viser lave konsentrasjoner for metaller, PCB og PAH (klasse I – II, men punktvis opp til klasse III), og gjennomsnittlig moderat/ dårlig miljøkvalitet for TBT (klasse IV- V). Sedimentene i nærheten av Tangenbakken består av sand med lav finstoffandel.

Det må ut fra dette antas at økt erosjon kan medføre en tidsbegrenset spredning av moderat til sterkt forurensede sedimenter, men at sedimentene vil avsettes relativt raskt igjen i nærområde nedstrøms. Strømningsmodelleringen beskriver ikke hvor stort omfanget av en økt erosjon vil bli, og også her vil erosjonen være naturlig påvirket av spesielle vær-situasjoner og hydrografiske situasjoner som springflo og årlig vårflo.



Figur 10-2 Rød sirkel viser et delområde i Strømsløpet hvor det muligens blir økt erosjon ved videre utfylling på Holmen.

### Avbøtende tiltak

For å dokumentere om mulig økt erosjon fører til mer forurensning i og utenfor erosjonsområdene, kan det utføres sedimentprøvetaking og utsetting av sedimentfeller som del av overvåkningsprogrammet ved videre utfylling på Holmen. Slik prøvetaking vil imidlertid vanskelig kunne svare på om endret miljøkvalitet på sjøbunnen skyldes utfyllingen eller naturlige erosjonsvariasjoner.

For å påvise en miljøkonsekvens av endrete erosjonsforhold må forurensningssituasjonen dessuten overvåkes før, under og etter utfyllingsperioden, som i seg selv vil pågå i en del år. Dokumentasjons- og overvåkningsbehovet må vurderes nærmere når den videre utfyllingen på Holmen er detaljprosjektert.



## 11 Andre temaer; flom, flodbølge og havnivåstigning.

### 11.1 Estimerer for landheving og havnivåstigning

Iflg rapporten «Estimerer av framtidig havnivåstigning i norske kystkommuner» (ref. /7/), forventes en økning på 80 cm i globalt havnivå fram mot år 2100. I den fylkesvise oversikten i vedlegget til ref. /7/ kan vi se at den lokale havnivåstigningen fra år 2000 fram mot år 2100 er beregnet til 45 cm for Drammen. Dette er «nettoheving» som tar høyde for lokal landheving.

Tallene for en stormflo med 100 års returperiode er oppgitt til 208 cm. Høyden er relatert til høydegrunnet NN1954. Tallet inkluderer beregnet havnivåstigning.

Dermed har man verdien NN1954 + 2,08 m for stormflonivå med 100 års gjentaksintervall ved Brakerøya. Dimensjonerende episode skal være 200 år. Veilederen «Håndtering av havnivåstigning i kommunal planlegging», ref. /8/, angir at 200 års stormflonivå kan antas å være 10 cm høyere enn 100 års nivå på strekningen Oslofjorden - Arendal.

Dimensjonerende verdi for stormflo ved Brakerøya blir dermed 2,18 m referert NN1954.

Konvertering til NN2000 tilsvarer ifølge Drammen Kommune (ref. /12/) 13 cm økning av de oppgitte høyder ved Holmen. Vi har med andre ord beregnet relativ stormflo (ref. NN2000) til 2,31 m i år 2100 på Holmen.

Den statiske vannstanden som definerer kotehøyden for sårbare områder vurderer vi å beregne som høyeste estimerte stormflonivå pluss eventuell vannstandsstigning på grunn av samtidig inntruffet flomvannføring og/eller ras. Bølgepåvirkningen regnes å overlagre denne vannstanden.

### 11.2 Flodbølge i Drammensfjorden pga. ras

Dette temaet er tidligere omhandlet i dokumentet «Idefase nytt sykehus Vestre Viken», ref. /4/.

Ulike ras-scenarier er simulert i 2d-modell, og resulterende bølgehøyde ved Brakerøya er presentert i tabell der en sannsynlig verdi for utløsning av ras på 5 minutter angir 4 cm vannstandsstigning ved Brakerøya. En skal være oppmerksom på at en reduksjon av rasutløsningstiden fra 5 minutter til 1 minutt vil øke vannstandsstigningen til ca. 30 cm. Reduseres rasutløsningstiden ytterligere, dvs. mot momentant utløst ras, kan man tenke seg betydelig høyere vannstandsstigning, helt opp mot 2 m.

Det ble i ref. /4/ konkludert med at 4-30 cm vil være et sannsynlig utfallsrom, men 30 cm betraktes som godt på den sikre siden av det mest sannsynlige scenariet (4 cm).

Det er kontrollert hvordan den rasutløste bølgehøyden ble ved Holmen, og det konstateres at den er på nivå med det nivået ved Brakerøya. For å være på sikker side benyttes det høye av estimatene, 30 cm.

### 11.3 Flom i Drammenselva

Generelt kan det sies om flomforholdene i nederste del av Drammenselva at flom i elva øker vannstanden kun oppstrøms Øvre Sund bro, som utgjør en terskel. Nedstrøms denne broen er vannstanden praktisk tatt identisk med vannstanden i fjorden, uansett vannføring i elven, altså også ved flom. Strekingen fra Øvre Sund bro til utfyllingen er ca. 3 km. Følgelig vil utfyllingen ikke påvirke flomvannstand i Drammenselva.

NVE har kartlagt flomrisiko i Drammensvassdraget (ref. /9/), inklusive forbi Holmen. I risikoanalysen angis flomvannstander bl.a. for 200 års flom. Risikoanalysen er basert på at flom i vassdraget kan inntreffe samtidig med høy vannstand i sjø. I tråd med det som er nevnt i første avsnitt, beregner NVE at på de nederste 2-3 km fra fjorden er det kun sjøvannstanden som definerer flomvannstanden

og ikke vannføringen fra vassdraget. Dimensjonerende flomvannstand med 200 års gjentakelsesperiode er beregnet til 1,9 m av NVE.

Det nevnte tallet for flomvannstand er altså egentlig definert av stormflo. Dette fenomenet er allerede tatt hensyn til i avsnitt 11.1. Tallet fra NVEs flomsoner rapport stammer fra 2005 og hadde ikke primært fokus på havnivå og det anses for tilrådelig å legge mer vekt på de ferskere tall fra DSB (NN1954 2,18 m). Ettersom dette tallet er høyere er det også på den sikre siden å basere seg på dette tallet fremfor det lavere tallet fra flomsonekartleggingen.

Multiconsult har i et annet oppdrag (Ref /10/) undersøkt oppstuvning i Drammensfjorden under flom, som følge av Svelvikterskelen. Det ble funnet at oppstuvningen kunne komme opp i 40 cm ved tusenårsflom. I denne sammenhengen er det imidlertid 200-årsflom som gjelder og vurderes at tallet da er nærmere 30 cm.

#### 11.4 Samlet påvirkning

Til sammen gir de omtalte påvirkningene følgende statiske høyde for dimensjonering:

		NN1954	NN2000
Absolutt høyde	Stormflo 200 år (inkl. havstigning)	218	231
Tillegg	Rasutløst flodbølge	30	30
Tillegg	Flom	30	30
	<b>Sum – statisk høyde</b>	<b>278</b>	<b>291</b>

#### 11.5 Beregning av bølgepåvirkning

I tillegg til statisk høyde kommer kortvarig påvirkning og oppskyll fra vindgenererte bølger. Multiconsult har tidligere beregnet bølgehøyde for Vestre Viken Sykehus på Brakerøya (Ref. /10/). Utredningen kom frem til såkalt *signifikant bølgehøyde* 1,5 m for Brakerøya. Ettersom strøklengde og retning er stort sett den samme for Holmen som for Brakerøya brukes samme verdien.

Bølgens oppskylling når den treffer land avhenger av fjordbreddens skråningsvinkel og av materialets overflate (hvor glatt/ru) og det benyttes en korreksjonsfaktor som avspeiler disse to parameterne. I ugunstigste fall kan korreksjonen komme opp i en firedobling, nemlig i fall skråningen er helt vertikal (dvs. en kaikant) og materialet glatt. Med grov stein og slakk skråning blir korreksjonen mindre. Det antas en middels slakk skråning (1:2), men glatt, tett overflate (f.eks. betong). Korreksjonen blir 2,0 og oppskyllingen blir  $2,0 \times 1,5 = 3,0$  m.

Såfremt de mest eksponerte breddene blir utformet som kaikanter, kan det være aktuelt å bruke en dobbelt så høy faktor.

Oppskylling har betydning først og fremst i forbindelse med erosjonsbeskyttelse og evt. overvannshåndtering.

## 11.6 Konklusjon

Resulterende kotehøyde for sårbare områder blir dermed 5,78 m (NN1954) som tilsvarer 5,91 m (NN2000). Tallene i tabellen under er avrundet til nærmeste desimeteren.

		<b>NN1954</b>	<b>NN2000</b>
Absolutt	Statisk høyde	278	291
Tillegg	Maksimal bølgeoppskylling (Middels slak skråning, glatt overflate)	300	300
<b>Absolutt</b>	<b>Statisk + oppskyll (avrundet verdi)</b>	<b>580</b>	<b>590</b>

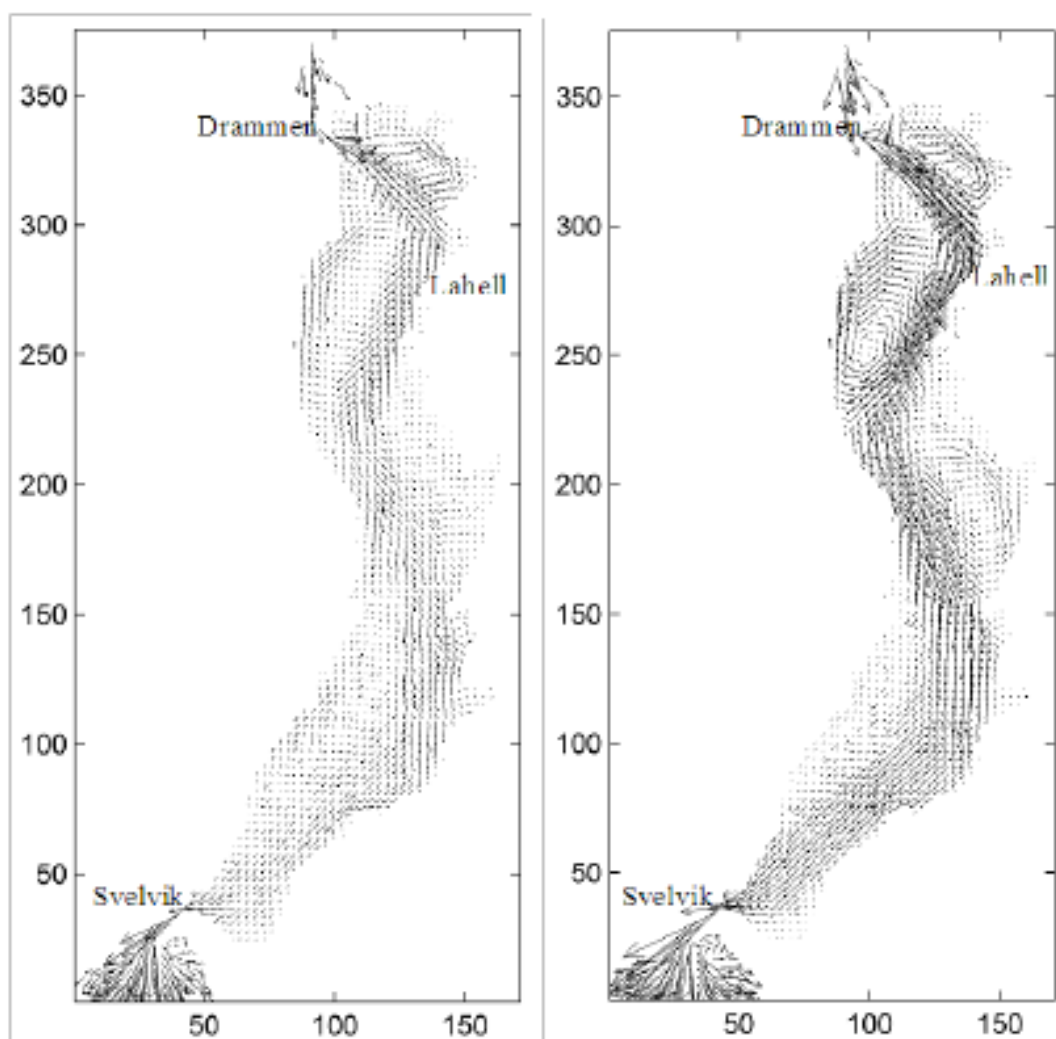
## 12 Konklusjon

Utfyllingsprosjektet vil i sin endelige fase fylle opp masser i fjorden en snau kilometer fra nåværende strandlinje. Analysen viser:

- Den største økningen av strømfart skjer i den nåværende elvemunningen, som vil lukkes inne i Strømsløpets forlengelse. Økningen ligger typisk rundt 0,1 m/s (max. 0,2 m/s midt i løpet der hastighetene er størst).
- I kontrollpunktene i fjorden i større avstand fra Holmen påvises det stort sett kun ubetydelige endringer av strømningsmønsteret.
- På støttefyllingen, øst for den kommende utfyllingen, er det en tydelig endring av strømmingens fart og retning, men ikke dramatisk og endringen vurderes å være uproblematisk.
- Basert for beregnet strømfart og påviste kornstørrelser konkluderes at fyllingen ikke vil forårsake erosjon omfattende nok til å undergrave elvebredden og utløse utglidninger i strandsonen. Etter en tids graving vil elvevannet vaske fram en naturlig «erosjonsbeskyttelse» av mellomgrov sand. Ingen av prøveseriene som er tatt opp i elvebunnen viser svært dårlige grunnforhold eller kvikkleire. De foreliggende data utelukker at det kan oppstå store ras.
- En moderat omforming av fyllingens sørlige avgrensning vil ha en gunstig effekt med hensyn til å redusere strømfarten nær områdene med størst økning.
- Usikkerheten mht. hvor langt saltvannskilen i Drammenselva presses ut under flom gjør at det er vanskelig å avgjøre hvilken av de to simuleringene (dybdeintegreert eller ferskvannslaget isolert) som er mest realistisk under flom, særlig i elvemunningen. Ferskvannssimuleringen er tillagt størst vekt i analysen, ut fra en «føre var» betraktning; denne gir større strømfart pga mindre, aktivt strømningsareal.
- Utfyllingen vil på lengre sikt flytte sedimenteringsområdet lengre ut i fjorden enn det er i dag. Den nåværende/historiske sonen med sedimentasjon vil i en overgangsperiode kunne resuspenderes pga. lokalt økt strømfart og sedimenteres lengre ute i fjorden, utenfor den kommende elvemunningen.
- På basis av eksisterende kjennskap til forurensede sedimenter i det påvirkede området, vurderes utfyllingen å være av liten betydning for miljøtilstanden av Indre Drammensfjord.
- Vurderingen av flom, flodbølge og havnivåstigning konkluderer med at statistisk 200-års vannstand er NN2000 291 cm, mens kortvarige bølgesprut kan komme opp i ca. NN2000 600 cm.

## VEDLEGG 1

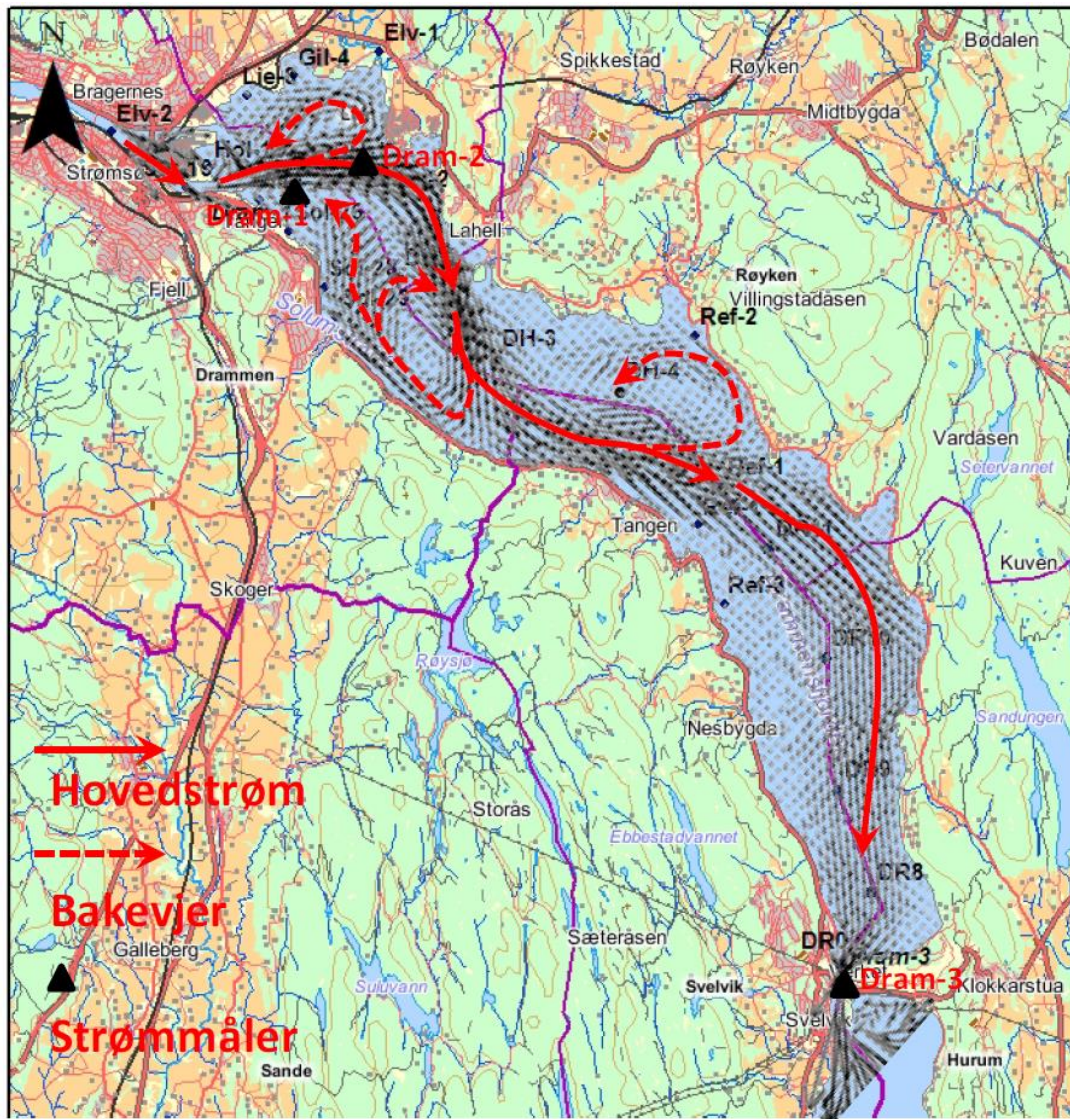
### Utdrag fra tidligere undersøkelser



**Figur 14** *Modellert strømretning (pilenes retning) og hastighet (pilenes lengde) i overflatevannet i Drammensfjorden. Figuren til venstre viser strømforholdene i februar med lite vannføring i Drammenselva, figuren til høyre viser strømforholdene i april med høy vannføring på grunn av vår flom. X- og y-aksen viser antall gridd-linjer brukt i modellen.*

Illustrasjon fra NGI 2012. (ref. /6/)

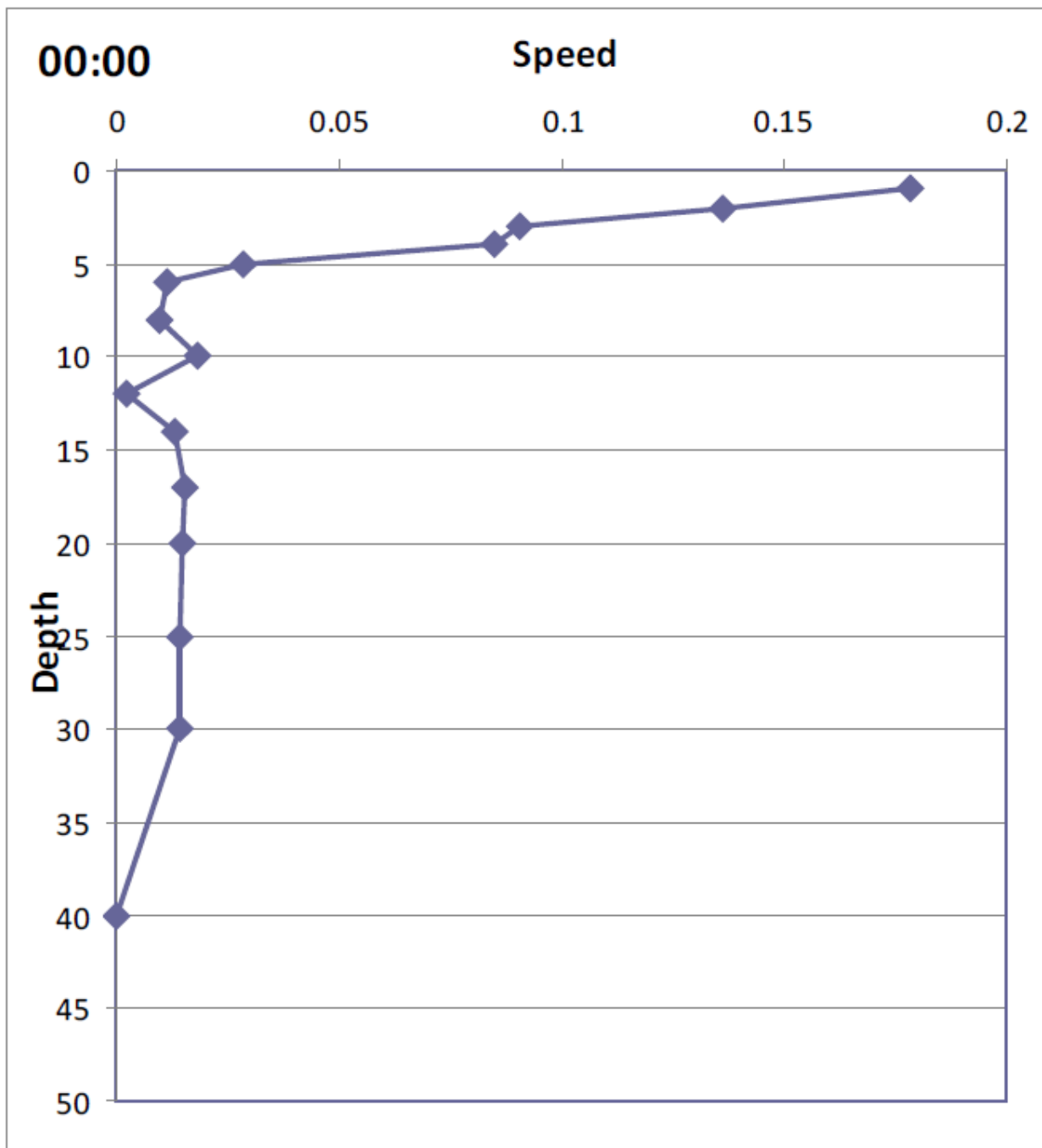
Utdrag fra tidligere undersøkelser



Figur 15 Illustrasjon av hovedstrømretningene i overflatevannet i indre Drammensfjord

Illustrasjon fra NGI 2012. (Ref. /6/)

Utdrag fra tidligere undersøkelser



Figur 8 Strømprofil beregnet for lokalitet Dram-1 ved utløpet av Drammenselva.

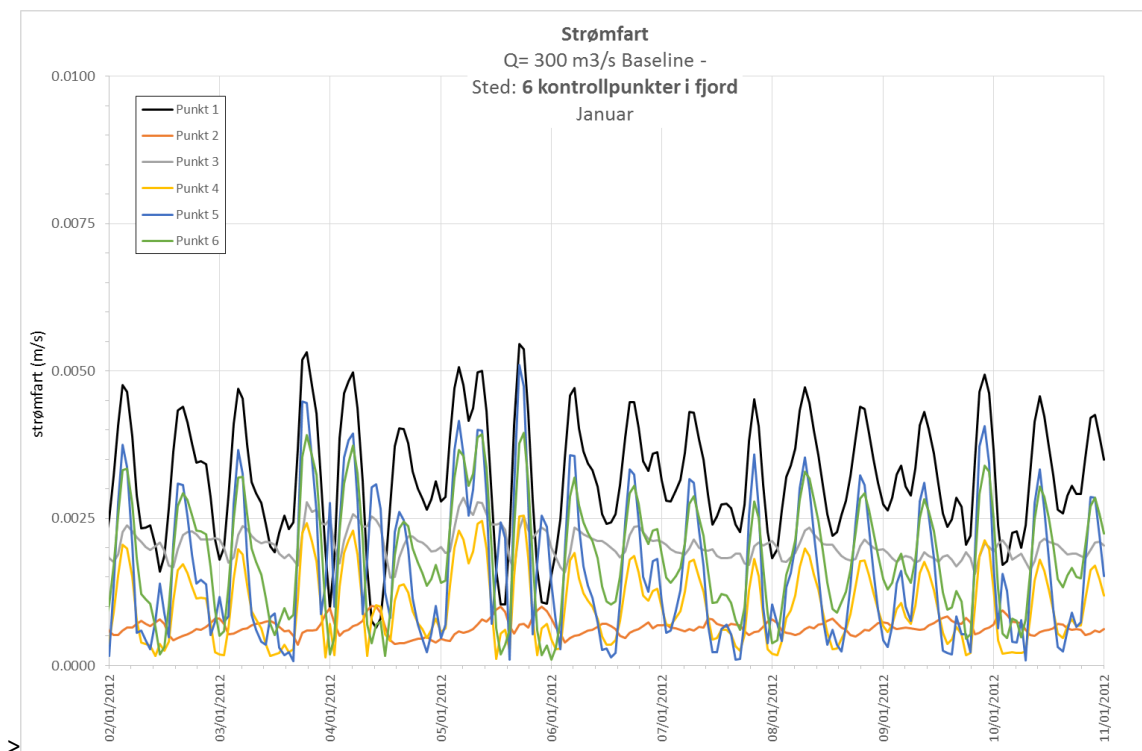
Illustrasjon fra DNV/NGI 2011. (Ref. /5/)

Tidsserier av strøm og retning

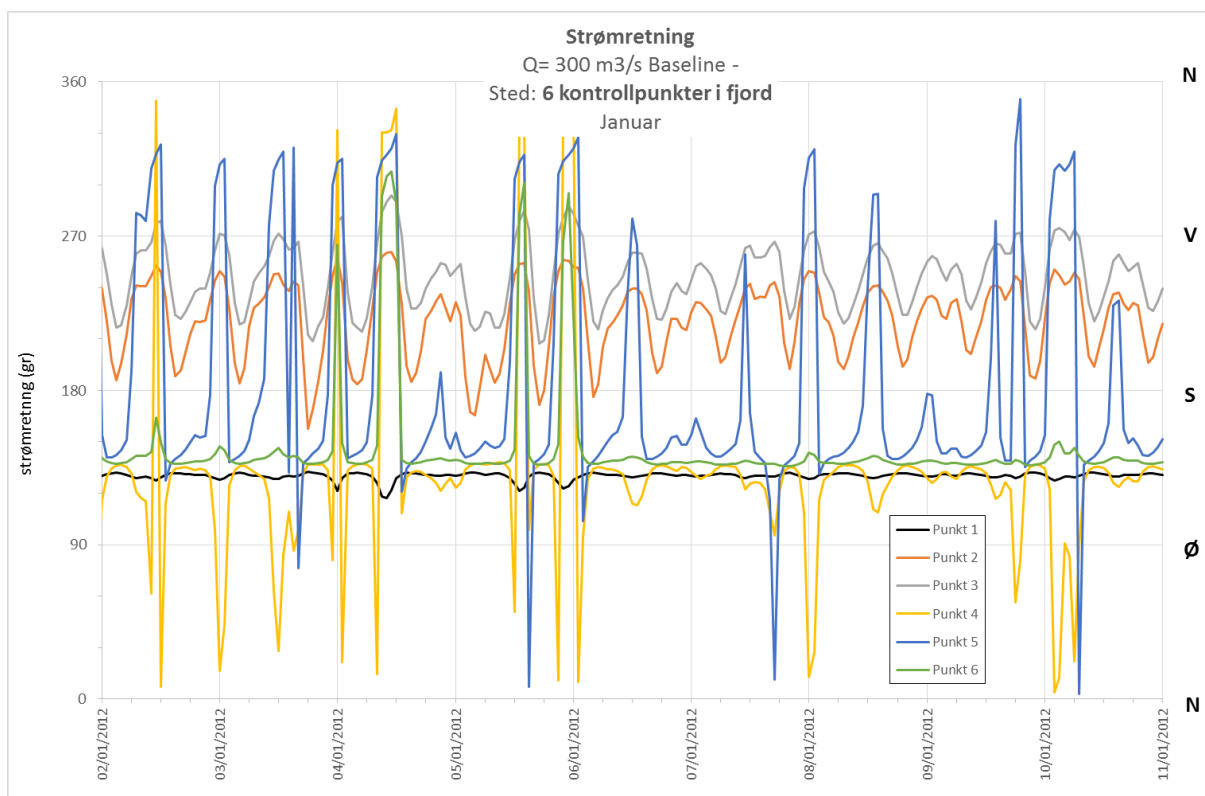
## **VEDLEGG 2**

### **Tidsserier av strøm og retning**

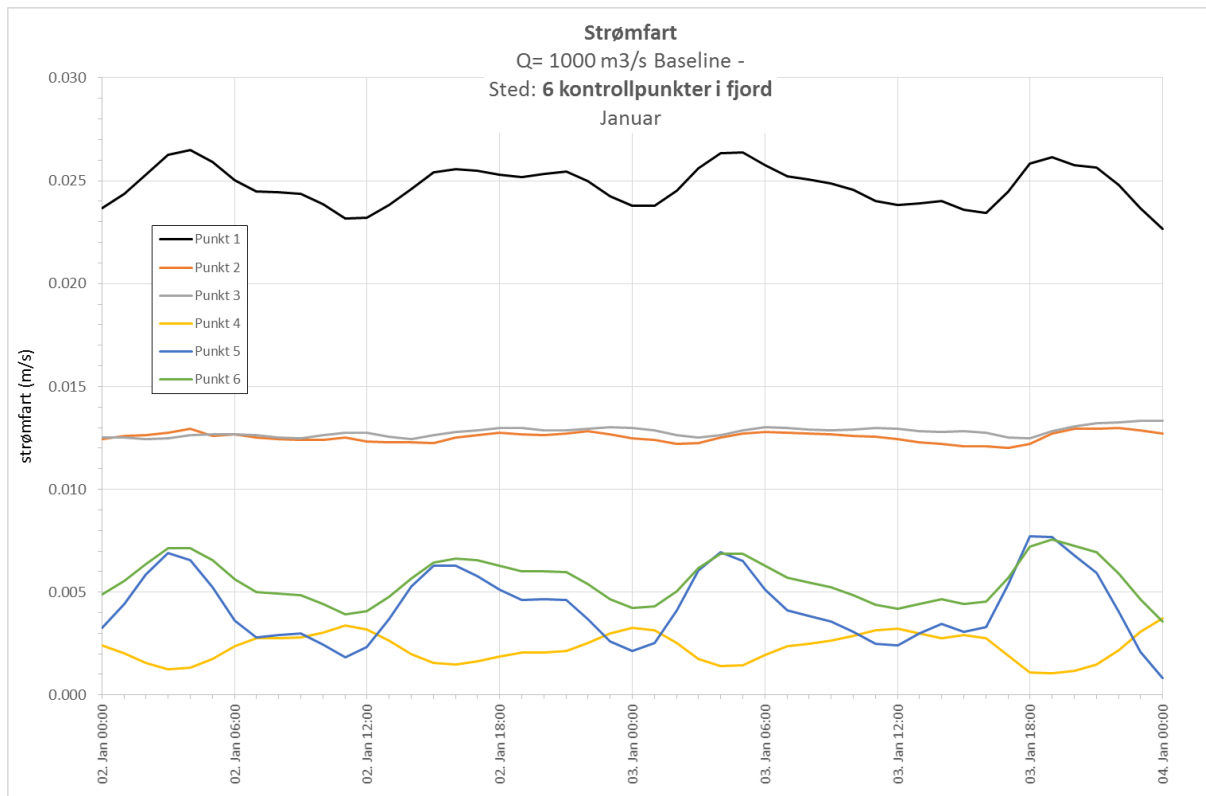




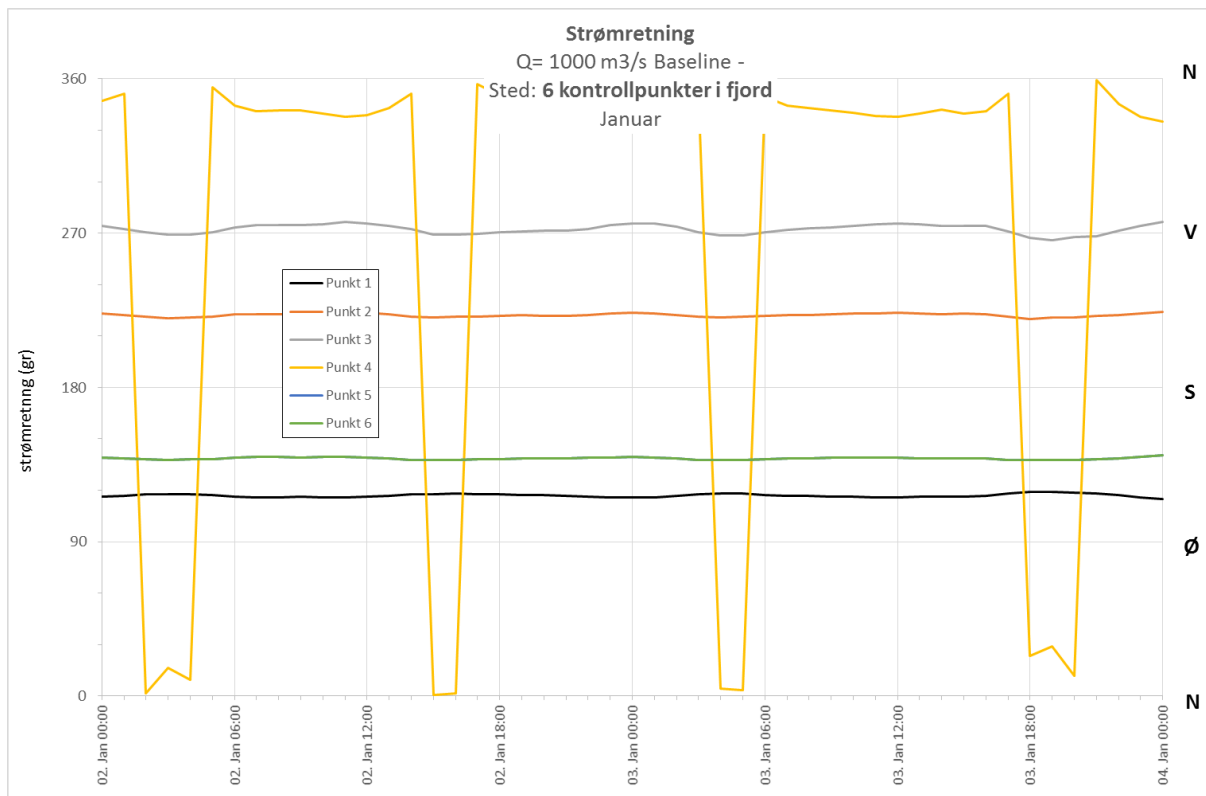
Figur V2-0-1 Tidsserieplot av strømfart i 6 utvalgte punkter i fjorden.  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Figur V2-0-2 Tidsserieplot av strømingsretning i 6 utvalgte punkter i fjorden.  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Figur V2-0-3 Tidsserieplot av strømfart i 6 utvalgte punkter i fjorden. Q=1000 m<sup>3</sup>/s.



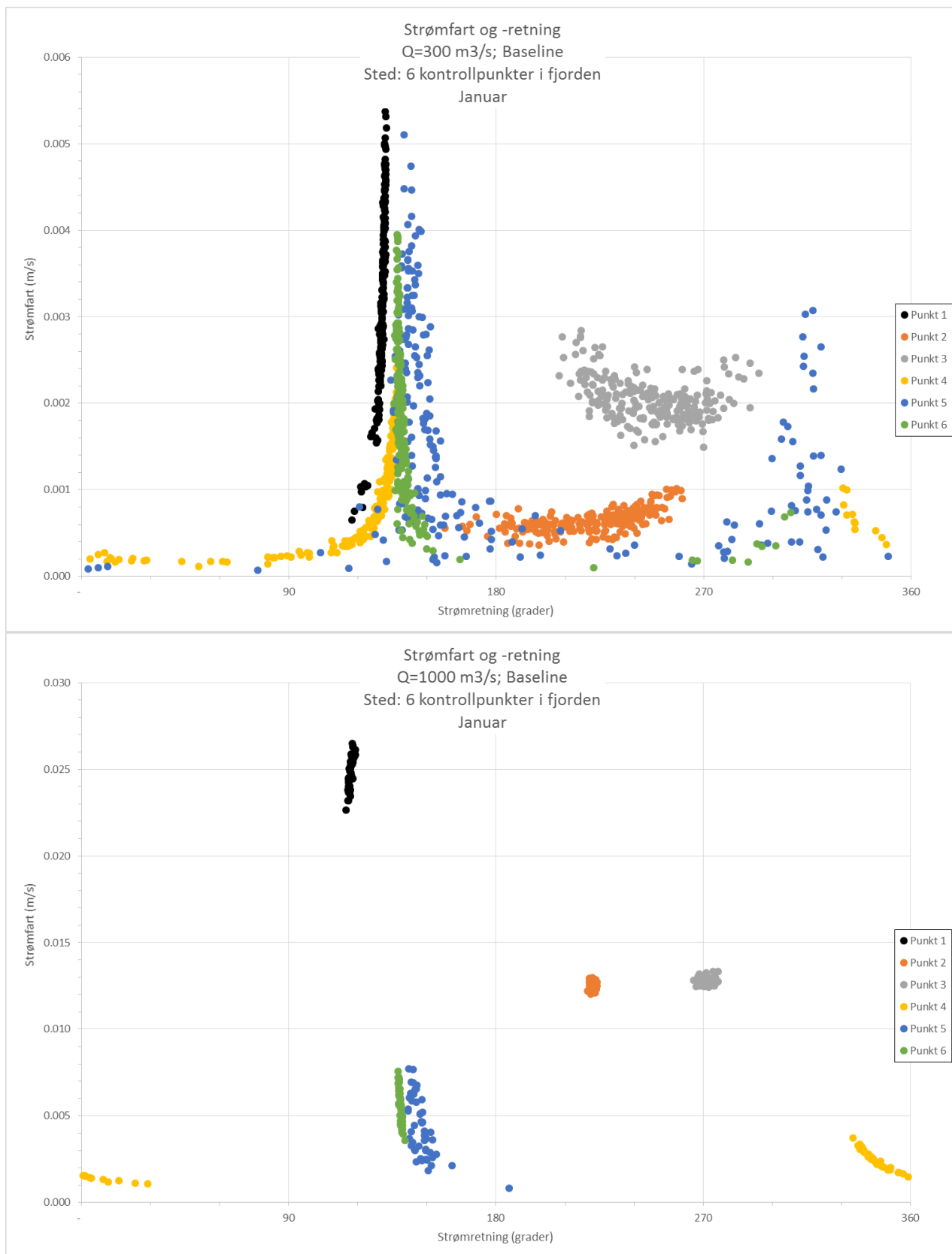
Figur V2-0-4 Tidsserieplot av strømningsretning i 6 utvalgte punkter i fjorden. Q=1000 m<sup>3</sup>/s.

Korrelasjon av strøm / retning  
(dagens situasjon)

## **VEDLEGG 3**

### **Korrelasjon av strøm / retning (dagens situasjon)**

Korrelasjon av strøm / retning  
(dagens situasjon)

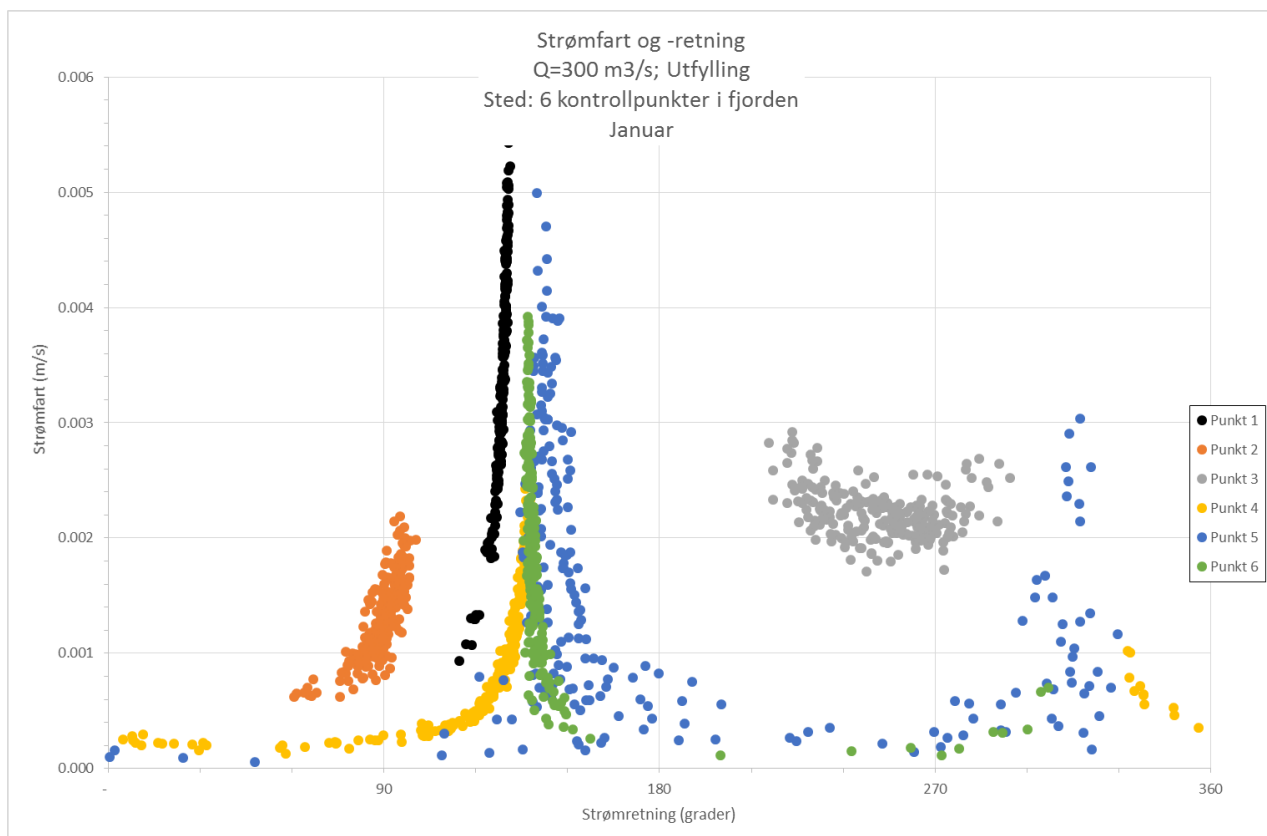
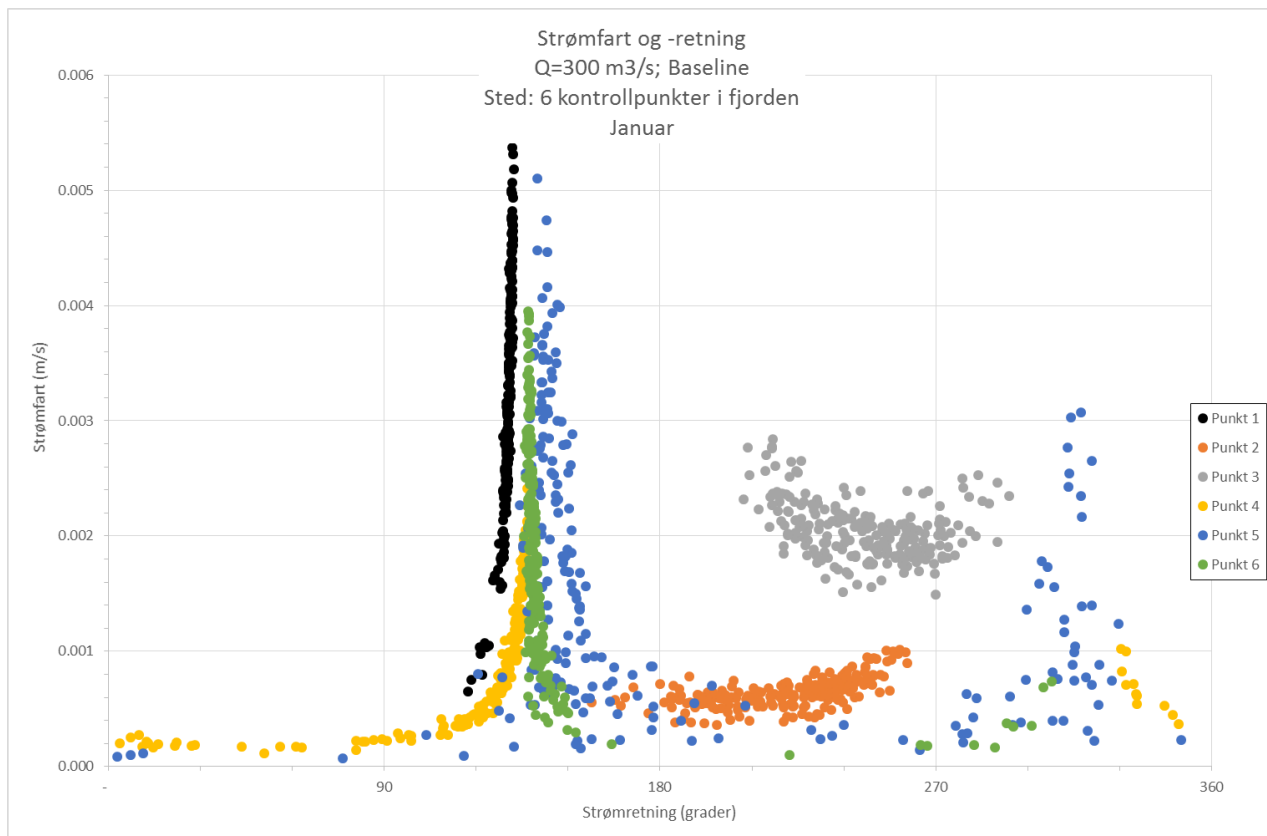


Figur V3-0-1 Strømfart som funksjon av strømretning, 0-alternativet. Øverst:  $Q=300 \text{ m}^3/\text{s}$ , nederst  $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Bemerk forskjellen i y-aksen (4 ganger større for  $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$ )

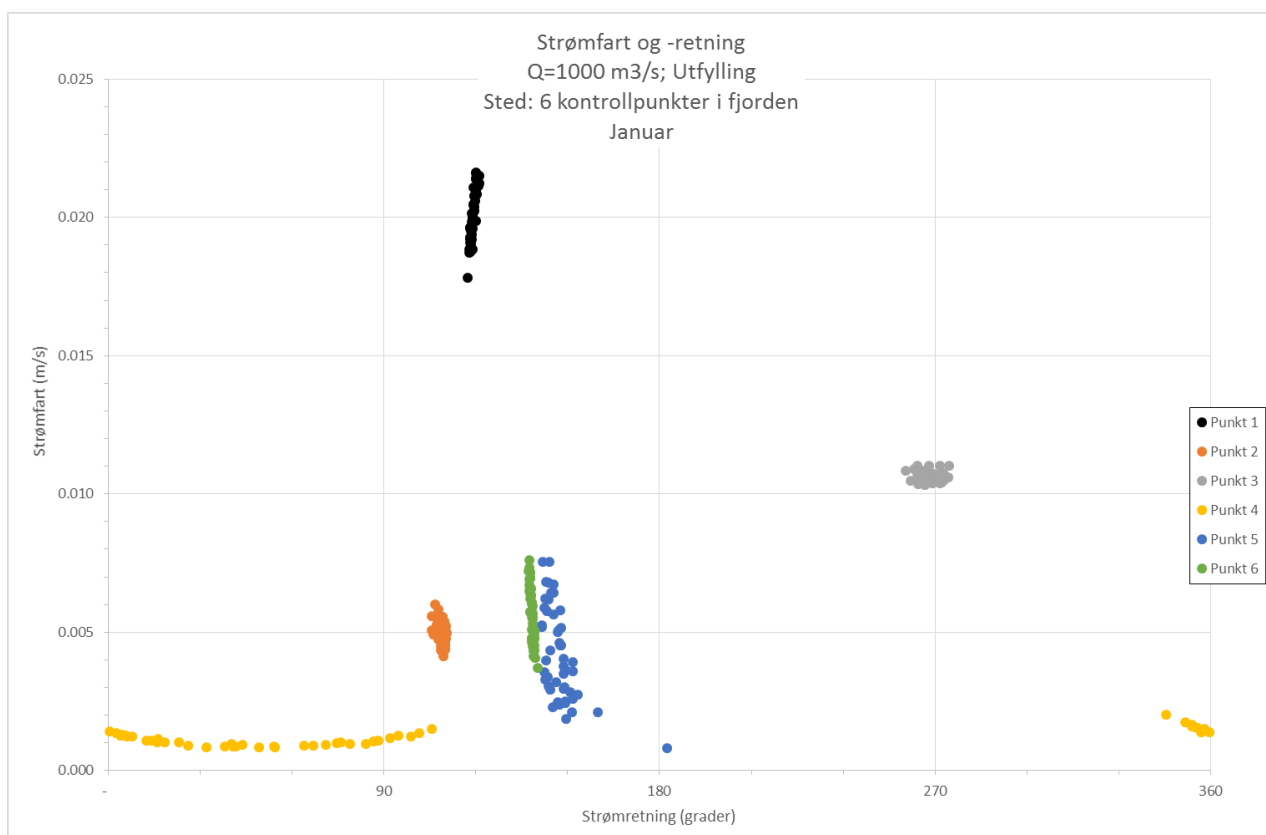
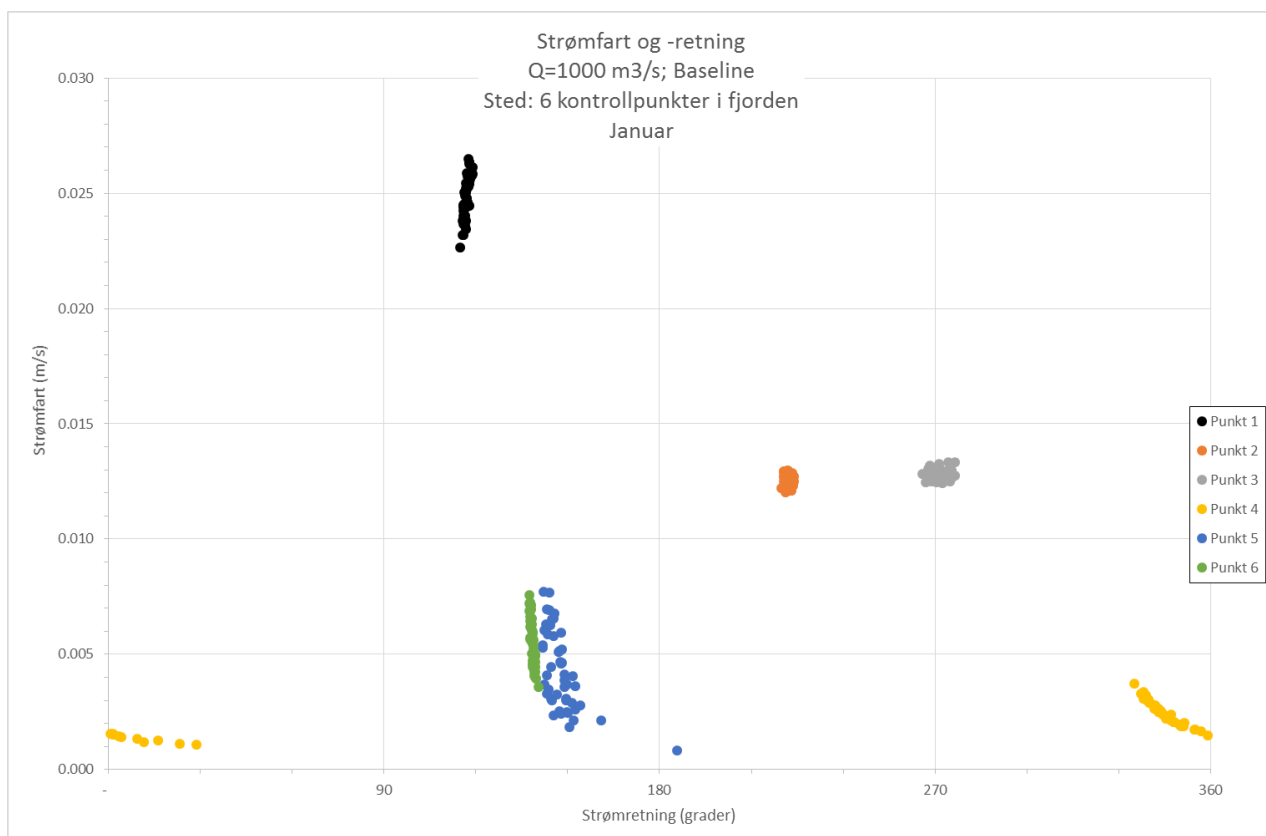
Korrelasjon av strøm / retning.  
Sammenligning av Utfylling med dagens  
situasjon

## **VEDLEGG 4**

### **Korrelasjon av strøm / retning. Sammenligning av Utfylling med dagens situasjon**



Figur V4-0-1 Strømfart og -retning i seks kontrollpunkter i fjorden. Q=300 m<sup>3</sup>/s  
Øverst: dagens situasjon, nederst: Etter utfylling.

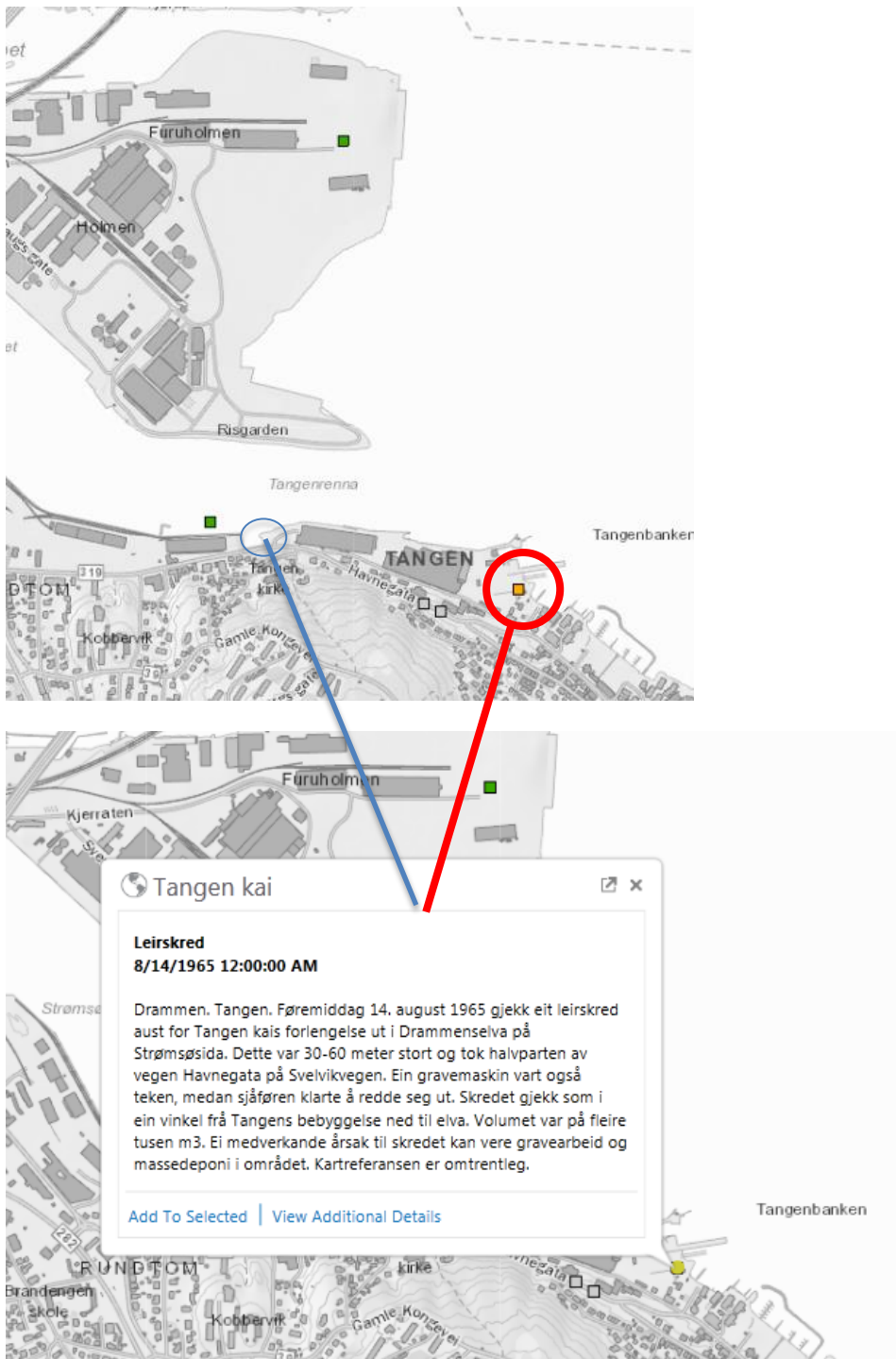


Figur V4-0-2 Strømfart og -retning i seks kontrollpunkter i fjorden. Q=1000 m<sup>3</sup>/s  
Øverst: dagens situasjon, nederst: Etter utfylling.  
Bemerk at y-aksen omfatter et større intervall enn forrige figur (ca. 4 ganger større).

Utdrag fra Skrednett.no

## VEDLEGG 5

### Utdrag fra Skrednett.no



Trolig er stedsangivelsen på [www.skrednett.no](http://www.skrednett.no) for skredet i 1965 feil (rød linje). Lokale kilder er ganske sikre på at det riktige stedet er det som er angitt i blått.

Legg merke til beskrivelsen av gravemaskinen i rasområdet.



# VEDLEGG 6

## Data fra grunnundersøkelser Kystfartsverket, Multiconsults oppdrag 814617

Dybde (m)	Beskrivelse	P. prøve	Test	Vanninnhold (%) og konsistensgrenser					$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Poreitet (%)	Organisk innhold (%)	Udreneret skjærfasthet (kPa)					S <sub>t</sub> (-)
				10	20	30	40	50				10	20	30	40	50	
	SAND, siltig organisk materiale, store trerester.		K						1,19	74							
	SAND øverst, SILT, leirig under lagdet. foto		K						1,94	45							11
	SAND fin, to leirag og et organisk lag		K						1,96	44							4
	SAND fin, lag av org.mat./trerester og leirige siltlag								1,89	48							2
5	SAND, to leirag i midten og ett i bunn to org. lag m/trerester								2,03	43							
	LEIRE, siltig siltsjikt								1,96	44							5
	LEIRE, siltig m/ tynde siltsjikt		T						1,96	44							6
	LEIRE, siltig m/overgang til silt/leire. fast								1,93	48							12
	SILT, leirig fast								2,07	38							4
10	LEIRE, siltig								2,03	41							5
																	1
																	2
																	2
																	3
																	2
15																	
20																	

<b>Symboler</b>		Enaksialforsøk (strek angir deformasjon (%) ved brudd)	$\rho_s$ = Densitet	T = Treaksialforsøk	$\rho_f$ = 2.72 g/cm <sup>3</sup>
		Omrørt konus	$\rho_t$ = Densitet		Grunnvannstand: m
		Uomrørt konus	$\rho_t$ = Densitet		Bor-bok: Digital
			$\rho_t$ = Densitet		Lab-bok: Digital









  

<b>PRØVESERIE</b>	6
Kystverket	Date: 2016-06-30
Innseiling Drammen havn	

Prøveserie ved hull 11

Dybde (m)	Beskrivelse	Preve	Test	Vanninnhold (%) og konsistensgrenser					$\rho$ ( $g/cm^3$ )	Poreitet (%)	Organisk innhold (%)	Udrenert skjærfasthet (kPa)					$S_t$ (%)
				10	20	30	40	50				10	20	30	40	50	
5 10 15 20	SAND, siltig med lag av treflis							66	1,73	50	7,2						
	SAND et 8cm lag med trerester nederst							66	1,68	63	15,6						
	SAND, siltig, organisk med et par finsandlag, uren								1,87	51	2,1						
	LEIRE, siltig m/sandlag og -lommer								1,85	49							
	LEIRE, siltig noe sandig i øvre del, et par tynne sandlag								1,93	44							
	LEIRE, siltig jemsulfidflekker								1,88	49							
	LEIRE, siltig								1,91	47							
	LEIRE, siltig								1,94	46							
	LEIRE, siltig								1,92	46							
	LEIRE, siltig								1,91	47							
	LEIRE, siltig								1,88	50							
	LEIRE, siltig								1,86	50							
	LEIRE, siltig								1,83	53							
	LEIRE, siltig								1,87	51							
	LEIRE, siltig								1,86	51							

<b>Symboler</b>	 Enakslforøk (strek angir deformasjon (%) ved brudd)	 T - Treakslforøk	$\rho_v$ = 2,68 g/cm
 Vanninnhold	 Uorrert konus	$\rho$ = Densitet	Grunnvannstand:
 Plastisitetsindeks, $I_p$	 Uorrert konus	$S_t$ = Sensitivitet	Borbot: Digt
		 Ø - Ødometerforøk	Lab-bok: Digt
		 K - Korngradering	

<b>PRØVESERIE</b>	18
Kystverket	Dato: 2016-07-06
Innseiling Drammen havn	

Prøveserie ved hull 18

Dybde (m)	Beskrivelse	Prøve	Test	Vanninnhold (%) og konsistensgrenser					$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Porestet (%)	Organisk innhold (%)	Udrenert skjærfasthet (kPa)					$S_t$ (-)		
				10	20	30	40	50				10	20	30	40	50			
5	SAND Grovsand i øvre del. To lag med trerester i prøven. Foto		K	○		○				1,70	52								
	SAND, siltig m/et par lag med trerester. foto		K			○	○			1,79 1,75	50 51								
	SILT flere lag m/trerester, sand i nedre del. foto							75 73		1,41 1,47	71 69								
	SAND treflis m/sandlag i nedre del		K			○		○		1,87 1,42	46 63								
	SILT treflis, lagdelt, noen sandlag Innimellom							66 73		2,01	58								
	SAND, fin m/noe treflis (mest øverst)							○	○		1,57 1,67	57 51							
	SAND, fin noe uren. treflis i nedre 25 cm							○			1,92 1,03	44 86							
	SILT, finsandig m/treflislag								○	○		1,75 1,73	54 56						
	SAND fin, noe uren								○	○		2,01 2,01	40 40						
	SAND, fin nederst: silt/finsandig, noe uren								○	○									
10																			
15																			
20																			

**Symboler**

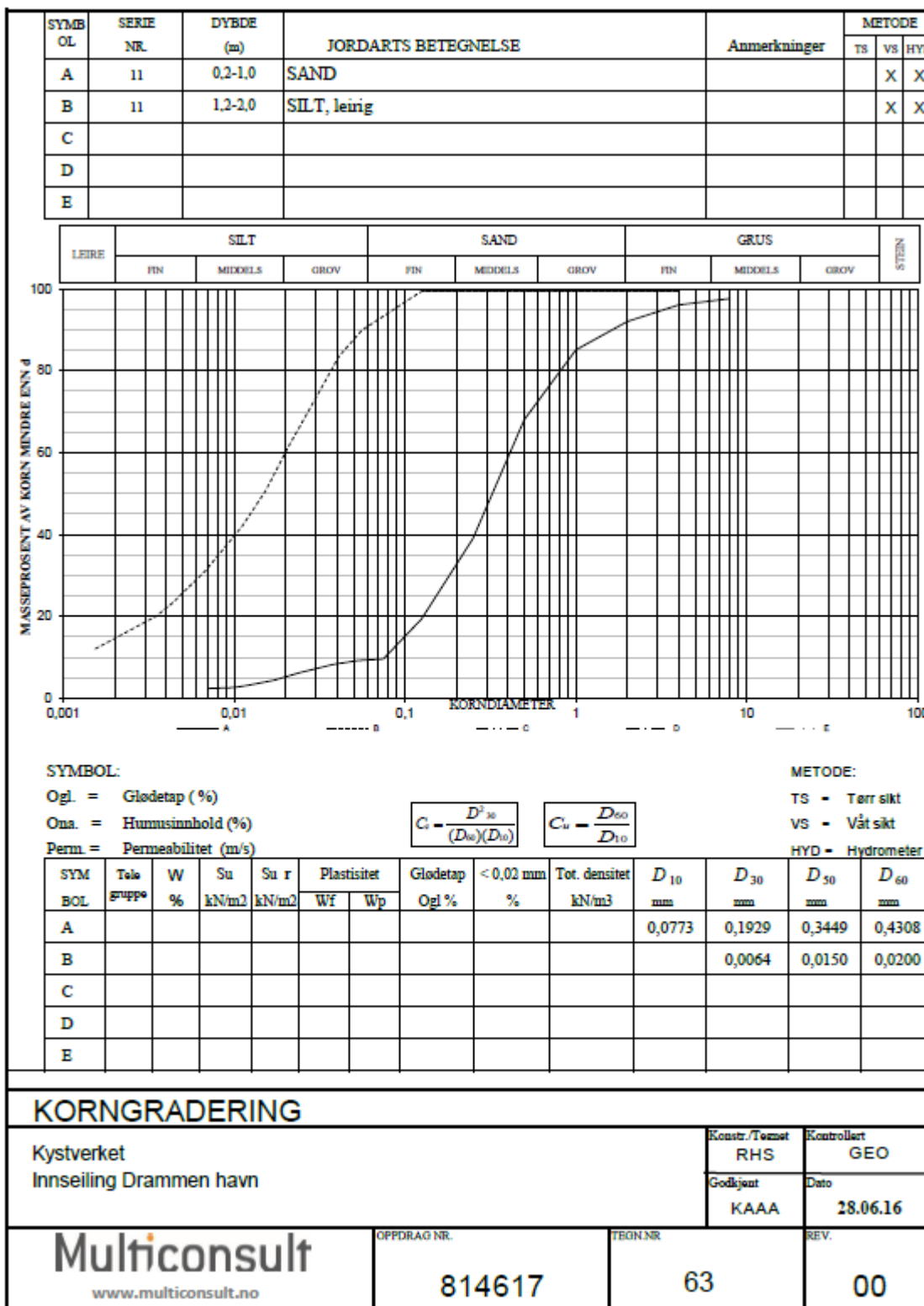
- Vanninnhold
- ▼ Omrørt konus
- ▼ Uomrørt konus
- Enaksialforsøk (strek angir deformasjon (%) ved brudd)
- $\rho$  - Densitet
- $S_t$  - Sensitivitet
- T - Treaksialforsøk
- Ø - Ødometerforsøk
- K - Korngredning
- $\rho_s$ : 2.75 g/cm<sup>3</sup>
- Grunnvannstand: m
- Borrbok: Digital
- Lab-bok: Digital

**PRØVESERIE** Borhull: 22

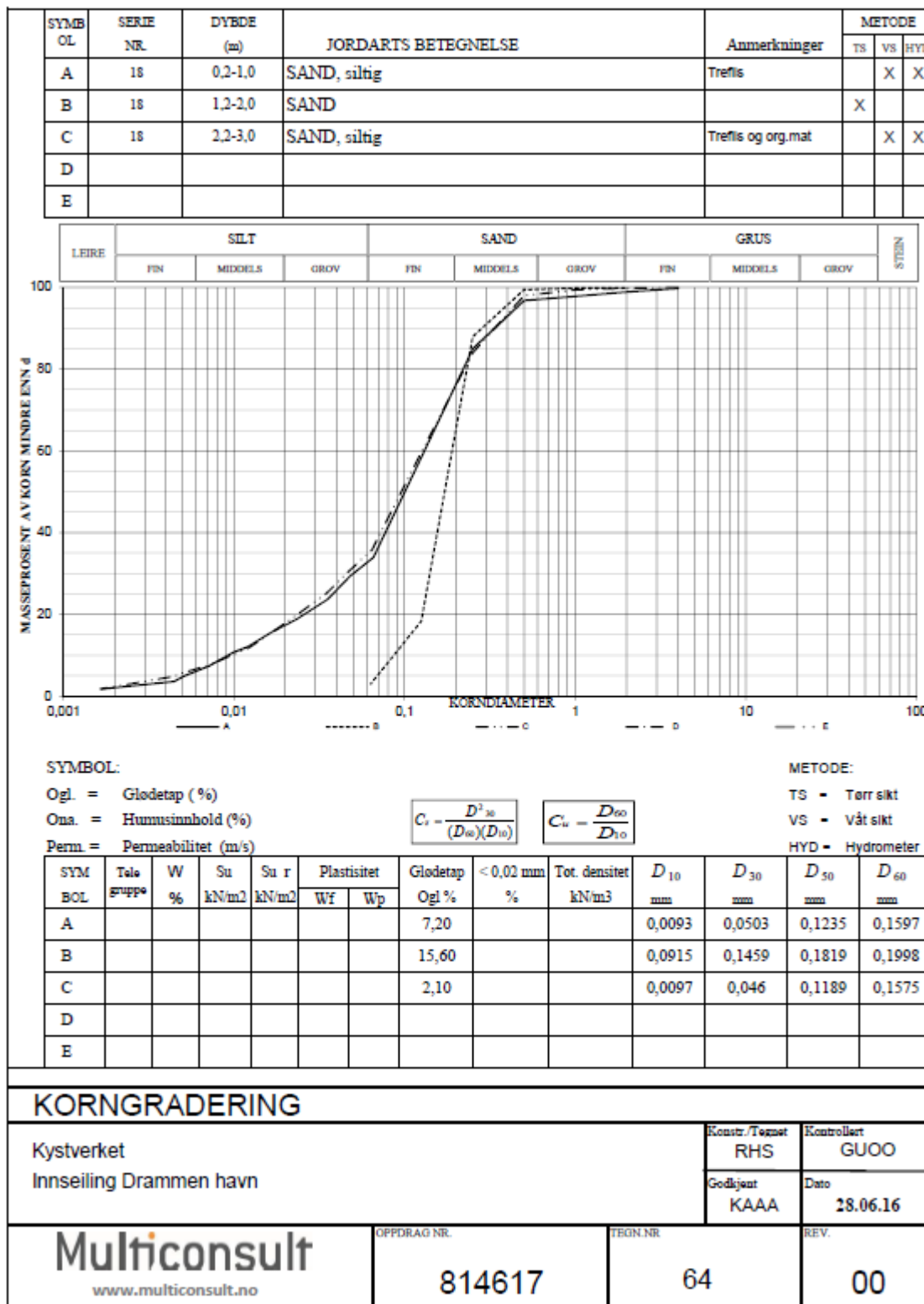
Kystverket Dato: 2016-07-06

Innseiling Drammen havn

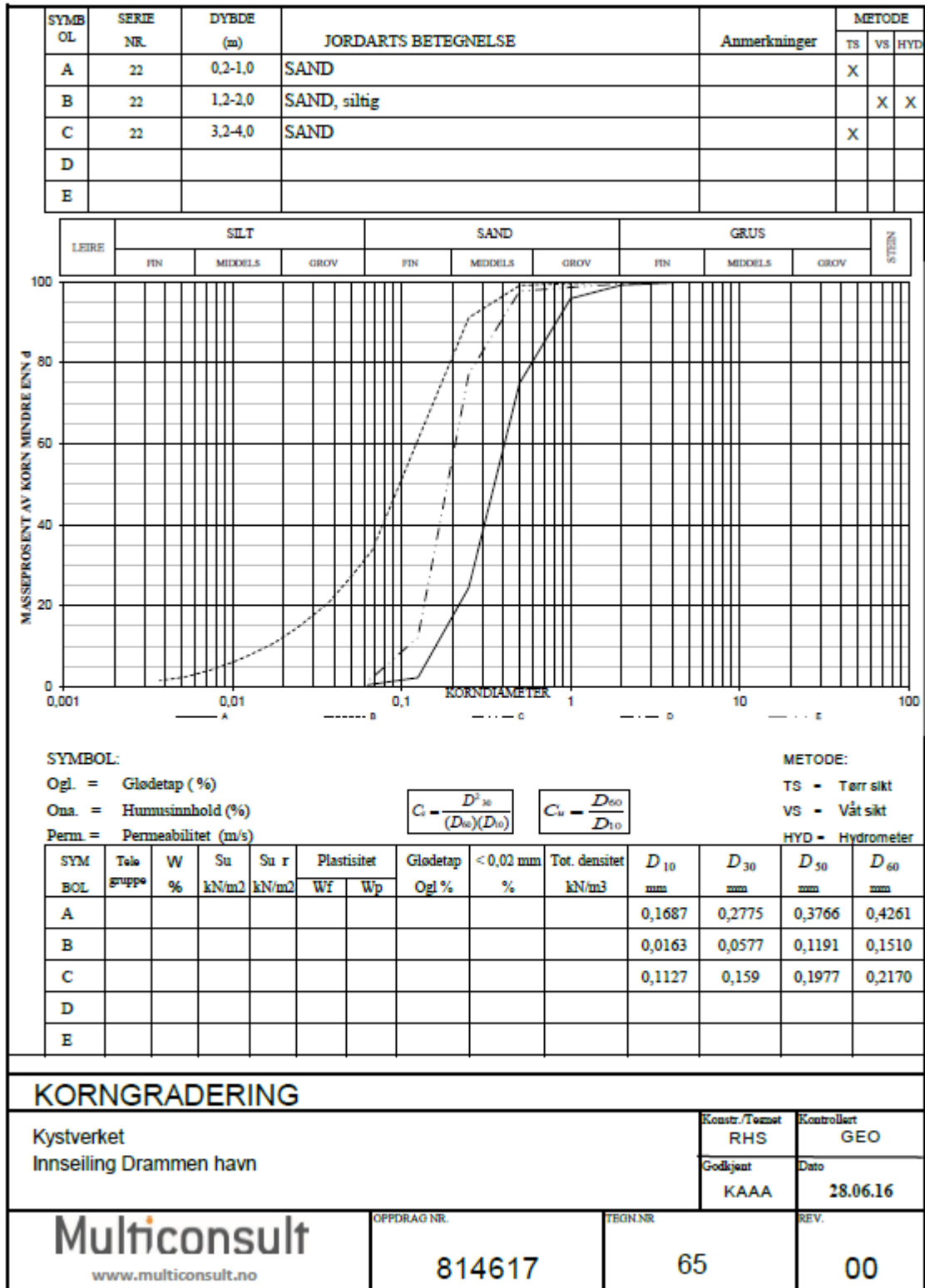
Prøveserie ved hull 22



Kornfordelingsdiagram hull 11, se kurve A 0,2-1 m dybde.



Kornfordelingsdiagram hull 18, se kurve A 0,2 – 1 m dybde.



Kornfordelingsdiagram hull 22

---

RAPPORT

# Områderegulering for Holmen

## Flom og strømningsforhold

---

OPDRAGSGIVER

Drammen Havn AS

EMNE

Flom og strømning - supplerende vurderinger

DATO / REVISJON: 31. januar 2018 / 01

DOKUMENTKODE: 814203-RiVass-RAP-003

---



Multiconsult

Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Hvis kunden i samsvar med oppdragsavtalen gir tredjepart tilgang til rapporten, har ikke tredjepart andre eller større rettigheter enn det han kan utlede fra kunden. Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.



## RAPPORT

OPPDRAAG	<b>Utbygning Holmen</b>	DOKUMENTKODE	814203-RiVass-RAP-003
EMNE	Flom og flombølge - supplerende vurderinger	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	<b>Drammen Havn AS</b>	OPPDRAAGSLEDER	Arnfinn Schjølberg
KONTAKTPERSON	Jarle Hansen	UTARBEIDET AV	Jean-Pierre Bramslev
KOORDINATER	SONE: 32      ØST: 569500      NORD: 6622700	ANSVARLIG ENHET	10105070 Hydrologi
GNR./BNR./SNR.	X / X / X / Drammen		

## SAMMENDRAG

Etter ønske fra NVE er det utført supplerende hydrauliske simuleringer for Holmen i Drammen, der det tas høyde for mer ekstreme flommer kombinert med ekstremt lavvann i fjorden.

Det er ikke tegn til at utfyllingen medfører en nevneverdig omfordeling av vannføringene mellom Strømsløpet og Bragernesløpet. Endringene i vannhastighet og vannstand er marginale når løpene betraktes helhetlig. Endringer i vannstand og vannhastighet er utpreget lokale.

I de undersøkte scenarier øker flomvannstanden stort sett marginalt; flomvannstanden økes med et par cm i Bragernesløpet. Sykehustomten på Brakerøya forventes for øvrig hevet til flomsikkert nivå og flomrisikoen vil derfor ikke økes.

Det er påvist et mindre område umiddelbart oppstrøms overgangen fra Bragernesløpet til fjord og utfylling, der det blir en økning av strømningshastighet, knyttet til fyllingen. Lokalt er økningen betydelig (noen m/s). Det forventes dog at hastigheten reduseres, når man tar hensyn til at fyllingen planlegges trukket tilbake fra kommunegrensen til Lier.

Mht. stabilitet av elvebredder mot sykehustomten på Brakerøya under stor flom, er eventuelle utfordringer i høyere grad knyttet til de høye hastigheter (over 5 m/s) som opptreder i det trangeste partiet i Bragernesløpet. I området der fyllingen medfører økt vannhastighet, er hastighetene stort sett betydelig lavere – også etter utfylling. Dessuten ligger området i noen avstand fra bredden. Dette vurderes derfor som av underordnet betydning – om noen - ift stabilitet av sykehustomten.

1	31/01/2018	Kvalitetssikret, klar til utsendelse.	JPB	AGB	
0	30/01/2018	Første utkast, sendt til KS v AGB	JPB		
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

## INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>Innledning 1</b> .....	<b>5</b>
1.1	Forutsetninger .....	5
1.2	Forenklinger .....	5
1.3	Beregningsscenarier .....	6
<b>2</b>	<b>Resultater, hydraulisk modellering</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Konklusjon</b> .....	<b>9</b>

### Kildehenvisninger:

1. «Områderegulering for Holmen. Flom og flodbølge, havnivåstigning, stormflo og strømning». Multiconsult. 21. oktober 2016/04. Dok. Kode: 814203-RiVass-RAP-002.
2. «Flomsonekart. Delprosjekt Drammelselva». NVE. Rapport 2017/3
3. «Drammen Havn. Utfylling mot øst. Dokumentasjon på områdestabilitet og vurdering av stabilitetsforholdene ved ekstrem flom». Multiconsult. 30/01/2018. Dok. Kode: 814203-RIG-xx.

## 1 Innledning 1

Multiconsult leverte i 2016 rapport (Ref. 1) om konsekvenser mht flom, havnivåstigning og flodbølge. NVE uttrykte i desember 2017 ønske om at konsekvensene vurderes for mer ekstreme hendelser og mere ugunstige kombinasjoner av havnivå og flom, først og fremst ekstremt lavvann. Man tenker seg at lav vannstand kan medføre store hastigheter og i verste fall medføre risiko for ras. Det er i særdeleshet ift. tomten til nytt Vestre Viken Sykehus at man ønsker å unngå økt naturfare.

Multiconsult har utført supplerende simuleringer for å belyse problemstillingene som NVE har reist. Det er benyttet samme modellverktøy som i 2016. Modellen er beskrevet i detalj i Ref. 1.

### 1.1 Forutsetninger

Utvalgte flomsannsynligheter er konkret anbefalt av NVE (i e-post januar 2018) for denne vurderingen. De tilsvarende vannføringsstørrelsene er tatt fra NVEs seneste flomberegning fra 2017 (Ref. 2).

Flomstørrelse, Drammenselva:

$$1) Q_{200} = 2700 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$2) 1,5 \times Q_{1000} = 4780 \text{ m}^3/\text{s}$$

NVE ønsket også utredet konsekvensene for  $Q_{1000}$ . Av fremdriftshensyn har det vært nødvendig å begrense seg til de to ovenstående vannføringene, som er mindre hhv. større enn  $Q_{1000}$ .

Mht. vannstand i fjorden har NVE ønsket at vi tar «ekstremt lavvann» i betraktning, dog uten å spesifisere noe gjentaksintervall. Multiconsult har gjennomgått ulike kilder for å finne et tilfredsstillende statistisk grunnlag. På Kystverkets hjemmesider finnes kun vannstandsdata fra og med 1990, altså 27 år, hvilket er et spinkelt grunnlag. Drammen Havn har opplyst at laveste observerte vannstand er -1,15. Det foreligger ikke opplysninger om hvilket år dette skal ha funnet sted og det er usikkert hvilken periode som statistisk er representert. For å imøtekomme NVE's ønske om en «ekstremt» lav vannstand har det blitt trukket fra en halv meter. Det legges derfor til grunn en fjordvannstand på -1,65.

### 1.2 Forenklinger

Simuleringene som er betegnet som «Nullalternativ» er basert på nåværende terreng. Strengt tatt skulle man tatt hensyn til den igangværende utfyllingen som etter hvert vil utfylle bukten på østsiden av Holmen og danne en rett nord-syd-gående avgrensning av Holmen.

Det har skjedd justeringer av fyllingsplanene siden Multiconsult satte opp strømningsmodellen og tilhørende terrengmodell i 2016. Blant annet har fyllingen nordlige avgrensning mot Lier/Bragernes blitt trukket noe tilbake mot sør for å ikke krysse kommunegrensen. Dette har ikke blitt implementert i modellen av hensyn til planprosessens fremdrift. I virkeligheten opereres det altså en noe mindre vidtgående fylling.

Bemerk også at det planlegges å heve sykehustomten til flomsikker høyde. Dette er ikke implementert i benyttet terrengmodell og kan i prinsippet gi et overdrevet bilde av flomfaren på denne tomten.

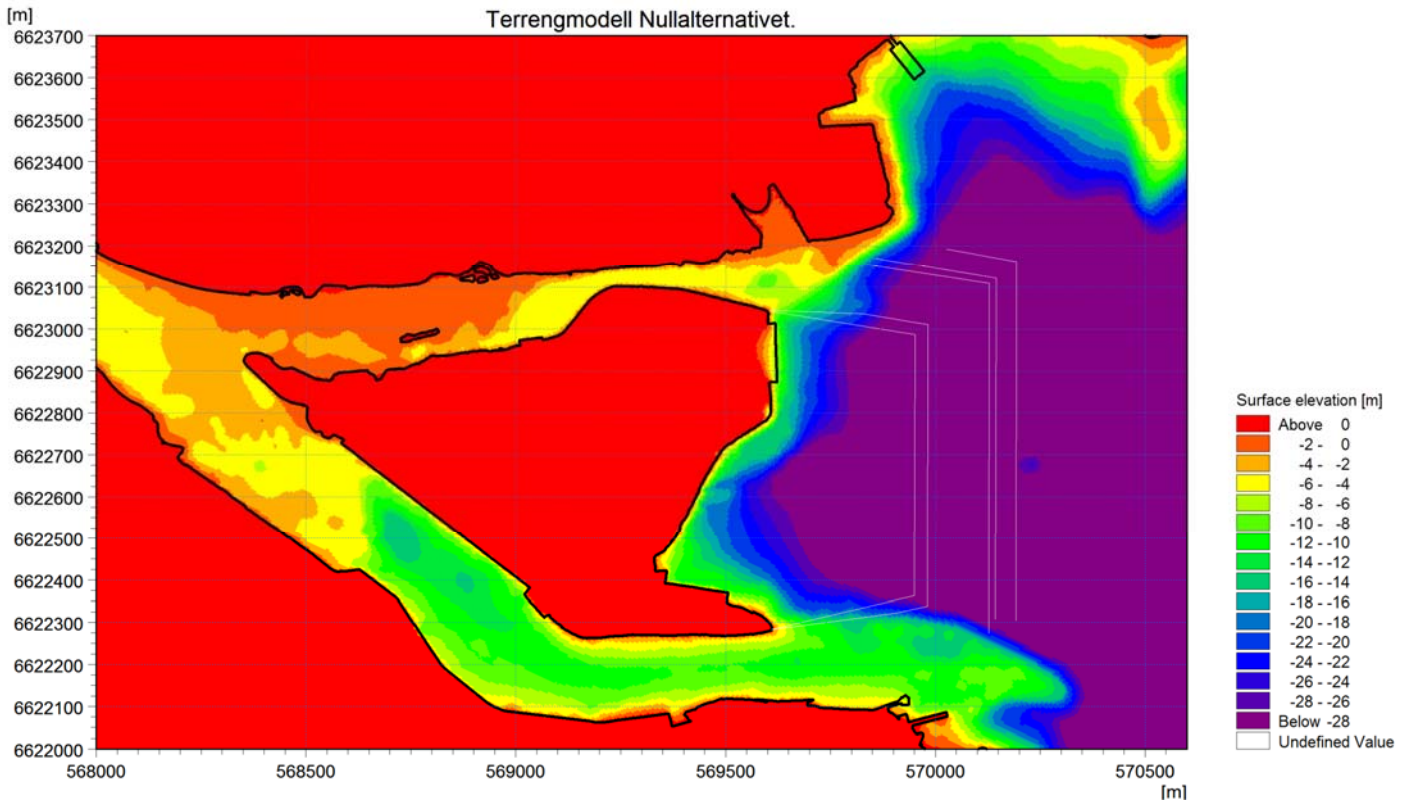
### 1.3 Beregningsscenarier

Terrengmodellene tilsvarende de to hovedscenariene er presentert som Figur 2 og Figur 3.

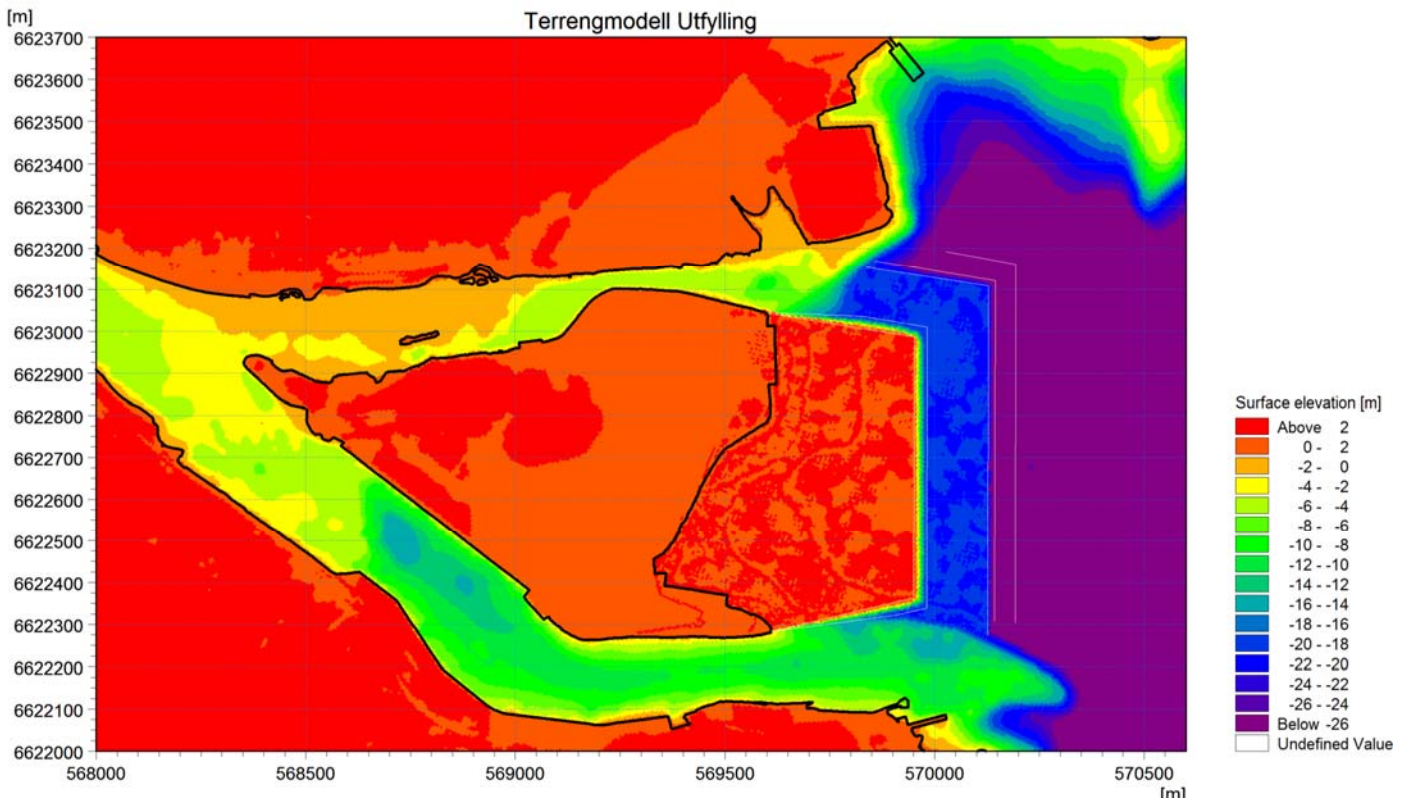
	Nullalternativet	Endelig utfylling
Q <sub>200</sub> , z=-1,65	x	X
1,5 x Q <sub>1000</sub> , z=-1,65	x	X



Figur 1 Oversiktskart



Figur 2 Terrengmodell, Nullalternativet



Figur 3 Terrengmodell, utfylling.

## 2 Resultater, hydraulisk modellering

Figur 4 og Figur 5 viser vannstand i Nullalternativet. For  $Q_{200}$  er det kun små oversvømmelser, mens for  $1,5 \times Q_{1000}$  er det meste av Holmen oversvømt, samt en stor del av sykehusomtten (på basis av dagens terrengnivå). Bemerk at bildet avspeiler at det er ekstremt lav vannstand i fjorden og ved en høyere fjordvannstand ville  $Q_{200}$  antagelig også føre til vesentlig oversvømmelse.

Figur 6 og Figur 7 viser vannstand etter utfylling. Forskjellen fra Nullalternativet er marginale. For bedre å synliggjøre forskjellene mht vannstand, er det utarbeidet et kart over differansen i vannstand før/etter, altså vannstandsstigningen som skyldes utfyllingen, se Figur 8 og Figur 9. Her ser vi følgende for  $Q_{200}$ : Oppstrøms Holmen og i Bragernesløpet ligger vannstandsøkningen på rundt 1-2 cm. I Strømsløpet er økningene noe større, 5-10 cm, opp til et maksimum på 30 cm ved Risgarden-utstikkeren.

Ved  $1,5 \times Q_{1000}$  er vannstandsøkningen generelt mindre enn ved  $Q_{200}$ . Dette kan henge sammen med at strømningsverrsnittet er betydelig større, ettersom det er store oversvømmelser på både Holmen og på nordsiden av Bragernesløpet. En stor del av strømningsverrsnittet er grunt og det er et stort friksjonstap ved  $1,5 \times Q_{1000}$ . Det økte friksjonstapet som følger av forlengelsen av det trange Strømsløpet, betyr derfor relativt mindre ved  $1,5 \times Q_{1000}$  enn ved  $Q_{200}$ .

Figur 10 og Figur 11 viser vannhastigheter. Som forventet opptrer de høyeste vannhastigheter på de trangeste partiene. I Strømsløpet er det opp til 3 m/s ved  $Q_{200}$  og over 5 m/s ved  $1,5 \times Q_{1000}$ . I Bragernesløpet er det opp til 1,3 m/s ved  $Q_{200}$  og opp til 3 m/s ved  $1,5 \times Q_{1000}$ .

Figur 12 og Figur 13 viser de tilsvarende hastighetskart etter utfylling. Det er kan ikke ses vesentlige forskjeller i det generelle bildet.

For å synliggjøre forskjellene i hastighet er det utarbeidet kart over økningen i hastighet som forårsaket av utfyllingen, vist som Figur 14 og Figur 15. For begge flomsituasjonen ser man en reduksjon av hastighet i forlengelsen av Risgarden-utstikkeren, fordi dette område i noen grad kommer til å ligge i strømskyggen fra utfyllingen, sammenlignet med Nullalternativet.

På nordsiden av utfyllingen, mellom denne og sykehusomtens østlige ende, er det et område med en økning av strømhastigheten på et par m/s. Hvis man sammenligner med terrengmodellen (Figur 2 og Figur 3) vil man se at området med størst hastighetsøkning, ligger rett før overgangen fra naturlig elvebunn til fylling. Figur 16 og Figur 17 viser relativ økning av hastigheten ( $1,0 = 100\%$  økning = fordobling av hastigheten). Figuren viser at det er noe over en fordobling av hastigheten i det røde området.

Det bør imidlertid noteres at det – både med og uten fylling – ses vesentlig større vannhastighet helt inn mot strandbredden på begge sider av Bragernesløpet på det trangeste partiet (vist med røde farger på Figur 11 og Figur 13), sammenlignet med det nevnte området der utfyllingen øker hastigheten. Dette er særlig utpreget ved  $1,5 \times Q_{1000}$ , med hastigheter over 5 m/s i de «røde» områdene langs breddene, både med og uten fylling. Følgelig er det snarere her at det kan tenkes stabilitetsproblemer under flom, enn i området der fylling medfører økt hastighet.

Bemerk at fyllingen har blitt redusert noe siden terrengmodellen ble utarbeidet, slik at den holder seg på sørsiden av kommunegrensen til Lier (se Figur 1). Etter alt å dømme vil også området med økt hastighet reduseres, og det er godt mulig at også hastighetsøkningen vil reduseres.

Konsekvenser mht stabilitet er behandlet i egen rapport «814203-RIG-NOT-005 Områdestabilitet - ekstrem flom», Ref. 3.

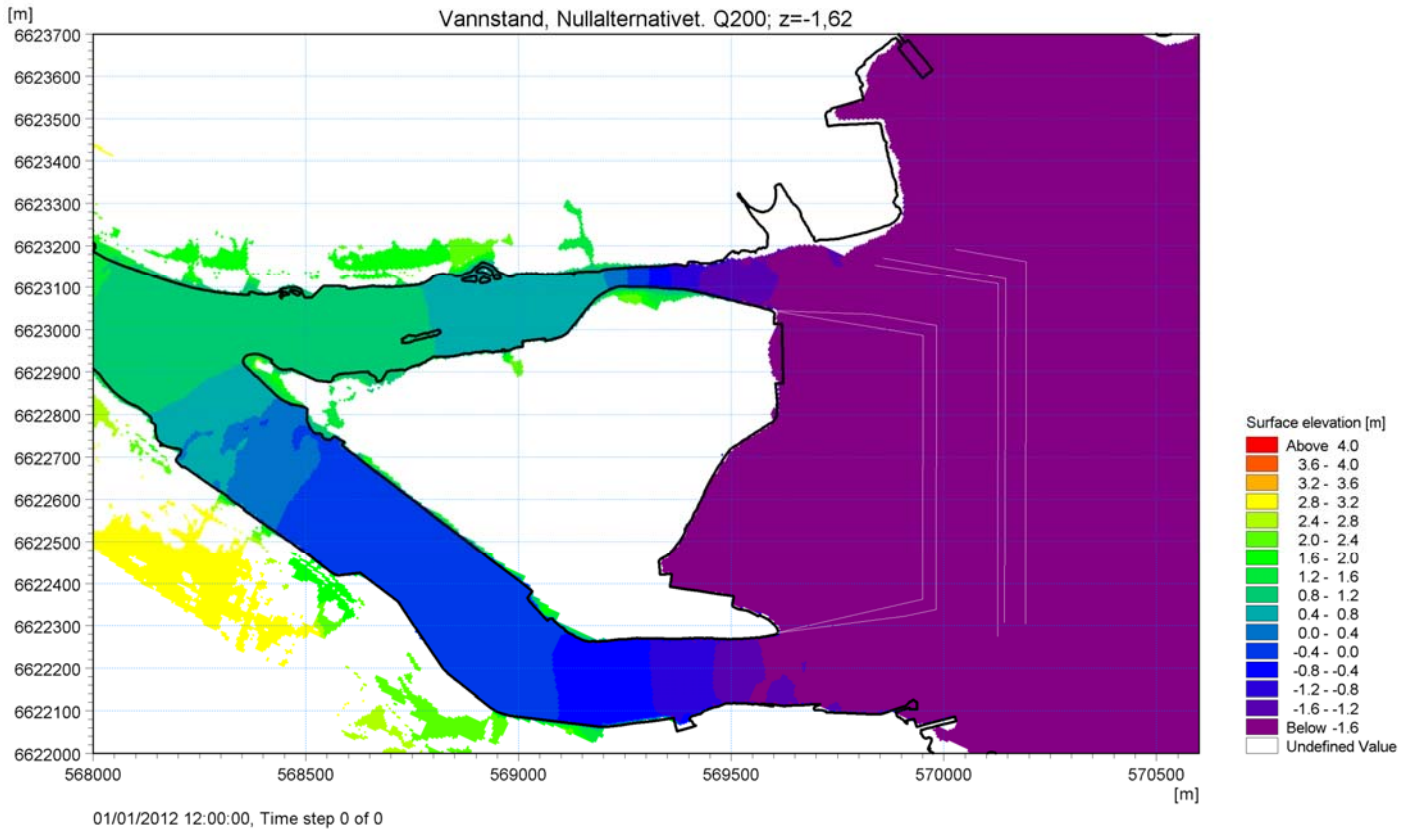
### 3 Konklusjon

Det er ikke tegn til at utfyllingen medfører en nevneverdig omfordeling av vannføringene mellom Strømsløpet og Bragernesløpet. Endringene i vannhastighet og vannstand er marginale når løpene betraktes helhetlig. Endringer i vannstand og vannhastighet er utpreget lokale.

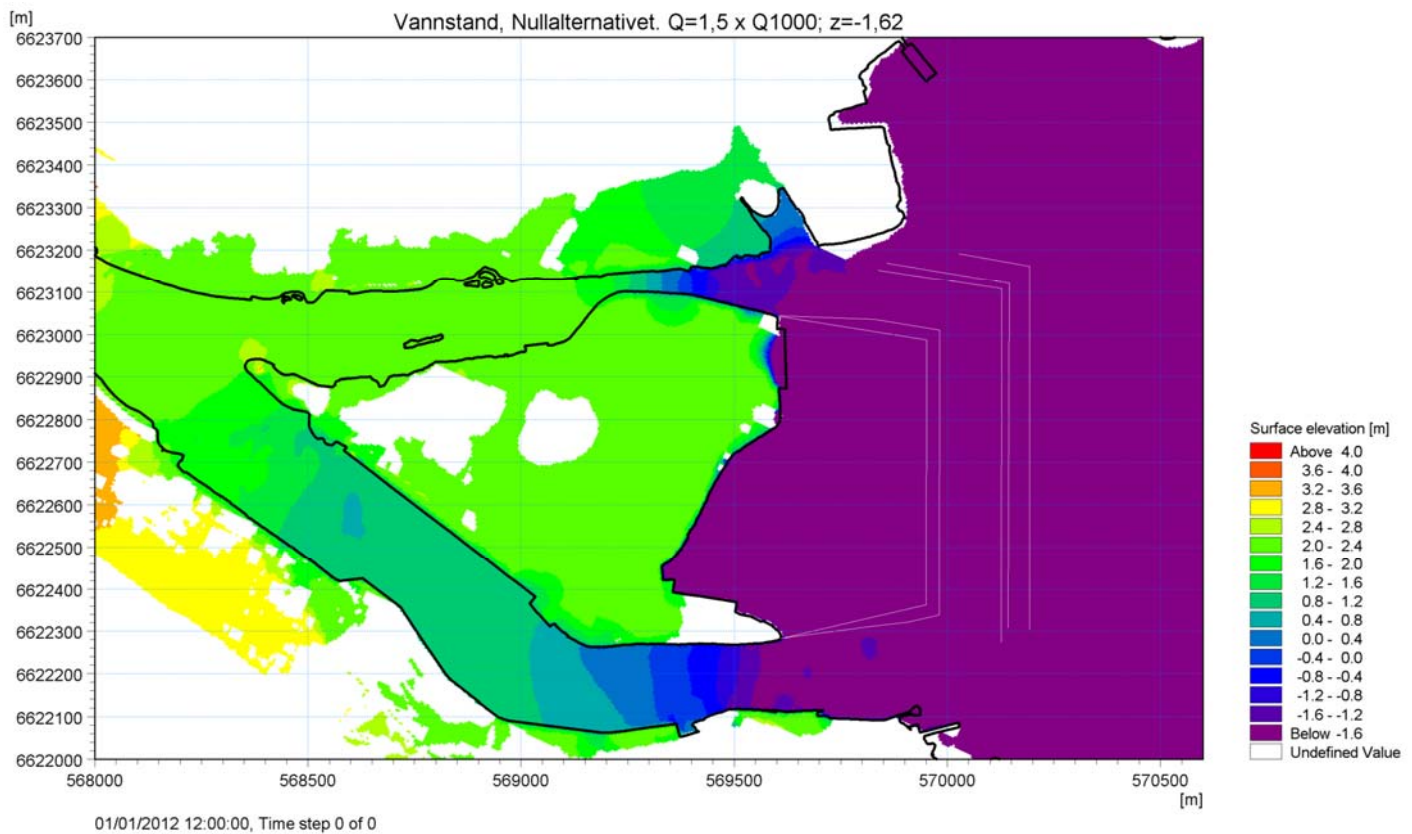
I de undersøkte scenarier øker flomvannstanden stort sett marginalt; flomvannstanden økes med et par cm i Bragernesløpet. Sykehustomten på Brakerøya forventes for øvrig hevet til flomsikkert nivå og flomrisikoen vil derfor ikke økes.

Det er påvist et mindre område umiddelbart oppstrøms overgangen fra Bragernesløpet til fjord og utfylling, der det blir en økning av strømningshastighet, knyttet til fyllingen. Lokalt er økningen betydelig (noen m/s). Det forventes dog at hastigheten reduseres, når man tar hensyn til at fyllingen planlegges trukket tilbake fra kommunegrensen til Lier.

Mht. stabilitet av elvebredder mot sykehustomten på Brakerøya under stor flom, er eventuelle utfordringer i høyere grad knyttet til de høye hastigheter (over 5 m/s) som opptrer i det trangeste partiet i Bragernesløpet. I området der fyllingen medfører økt vannhastighet, er vannhastighetene stort sett betydelig lavere – også etter utfylling. Dessuten ligger området i noen avstand fra bredden. Dette vurderes derfor som av underordnet betydning – om noen - ift stabilitet av sykehustomten.

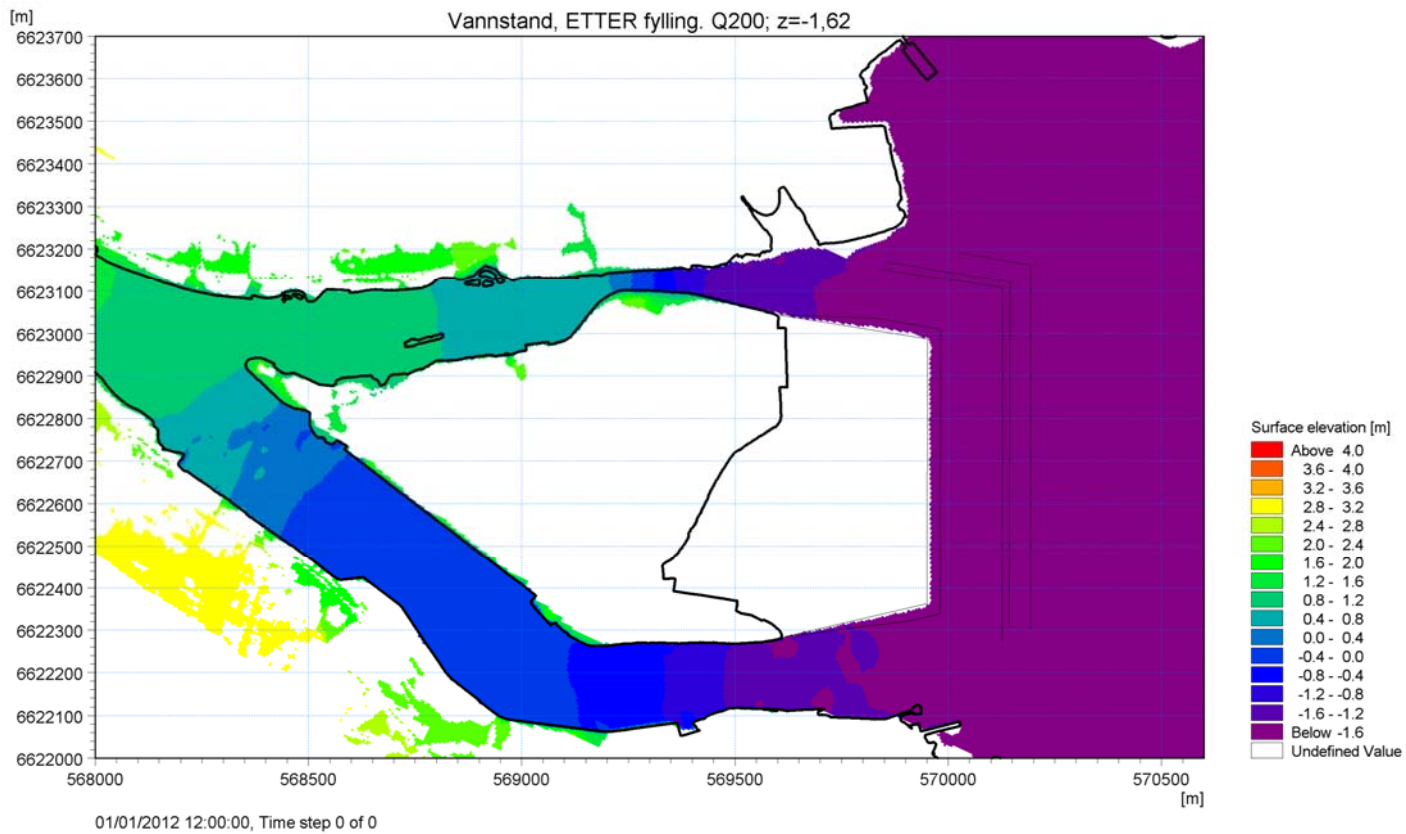


Figur 4 Vannstand, Nullalternativet, Q200.

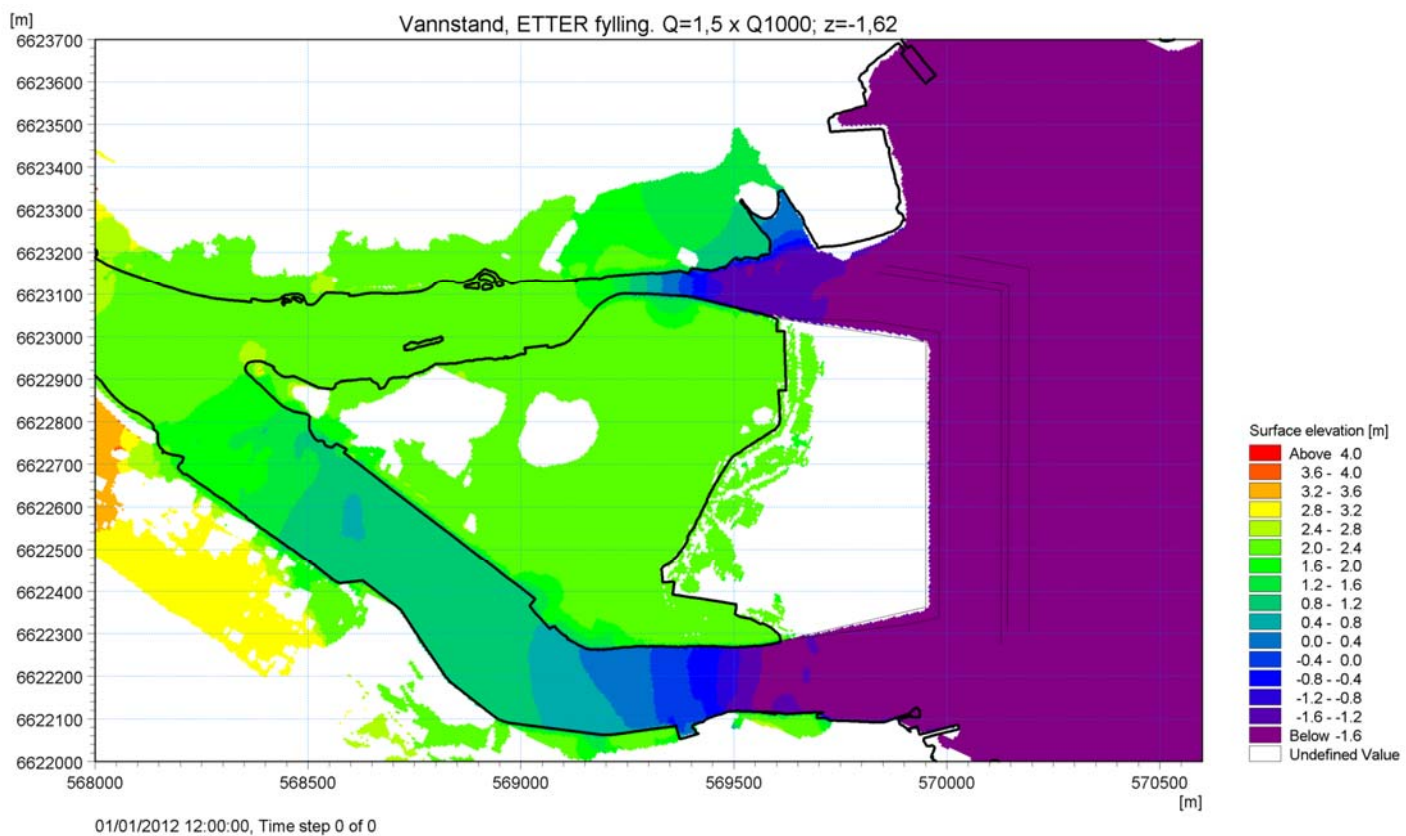


Figur 5 Vannstand, Nullalternativet, Q = 1,5 x Q1000.

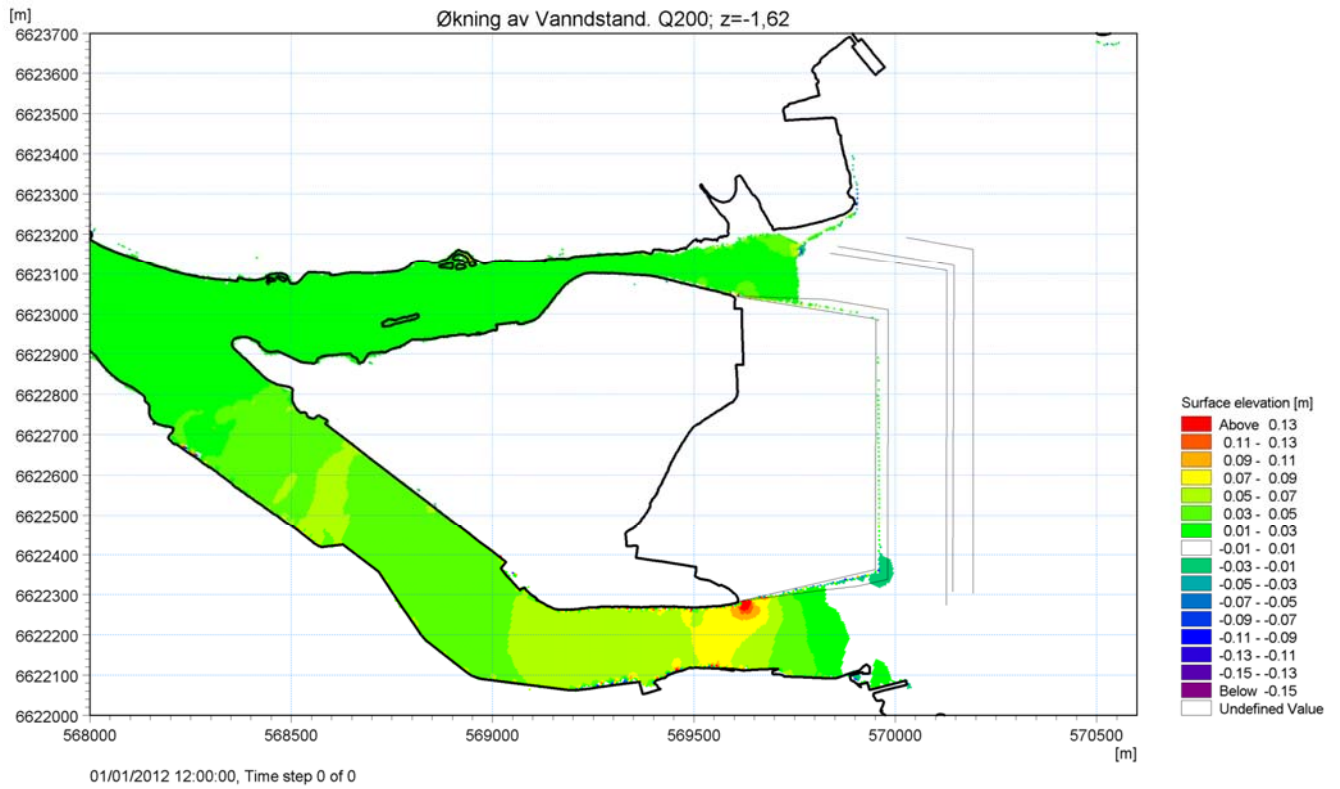




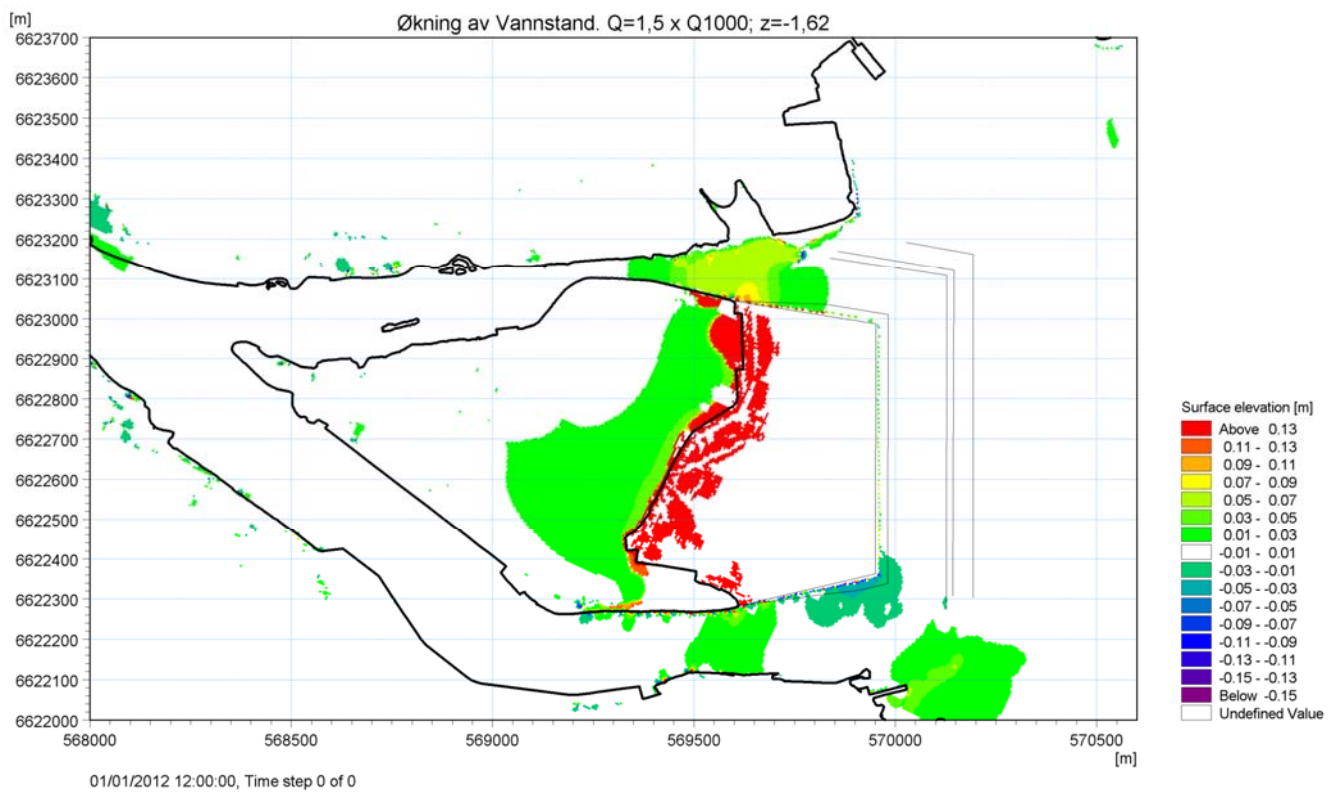
Figur 6 Vannstand, etter fylling. Q200.



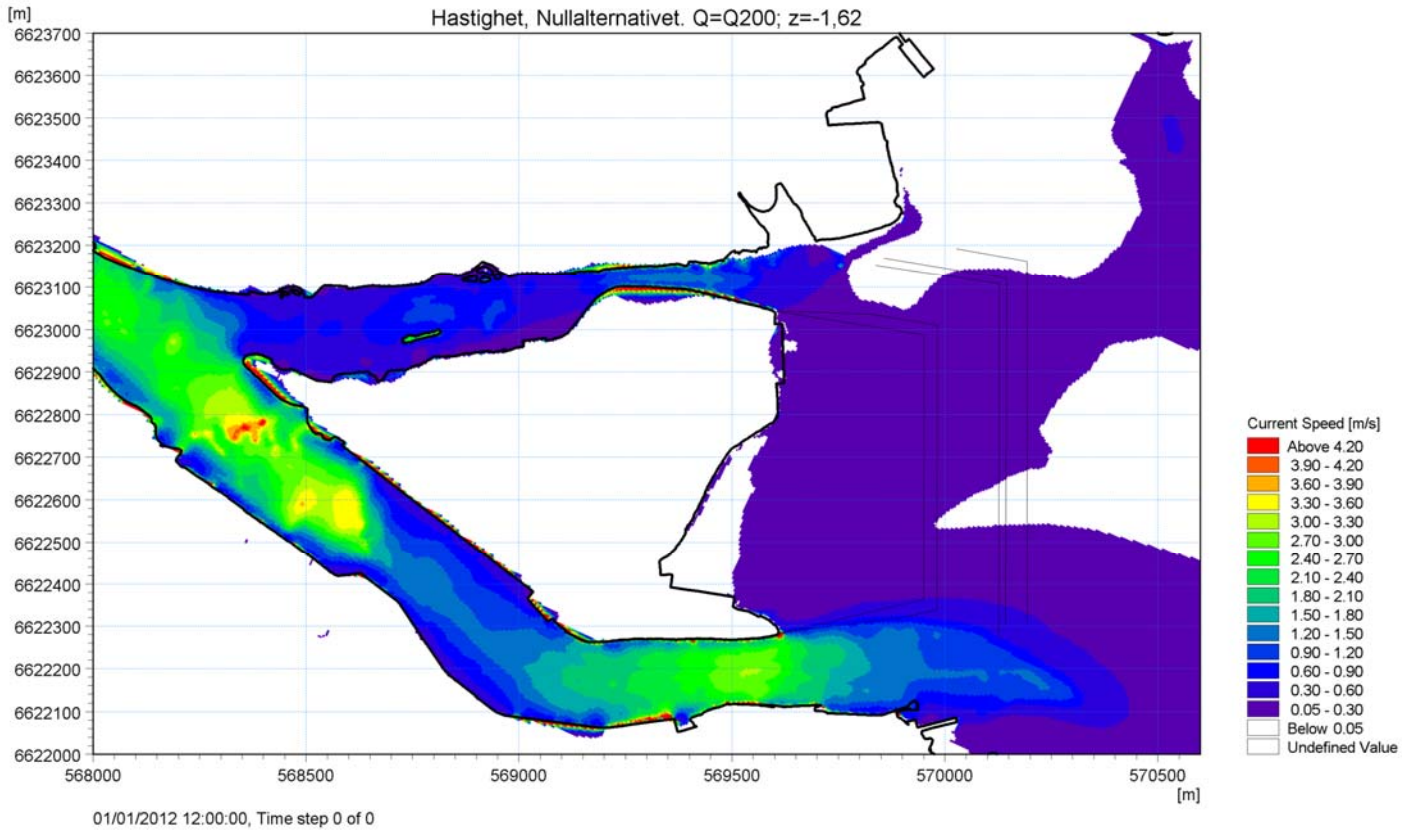
Figur 7 Vannstand, etter fylling. Q=1,5 x xQ1000.



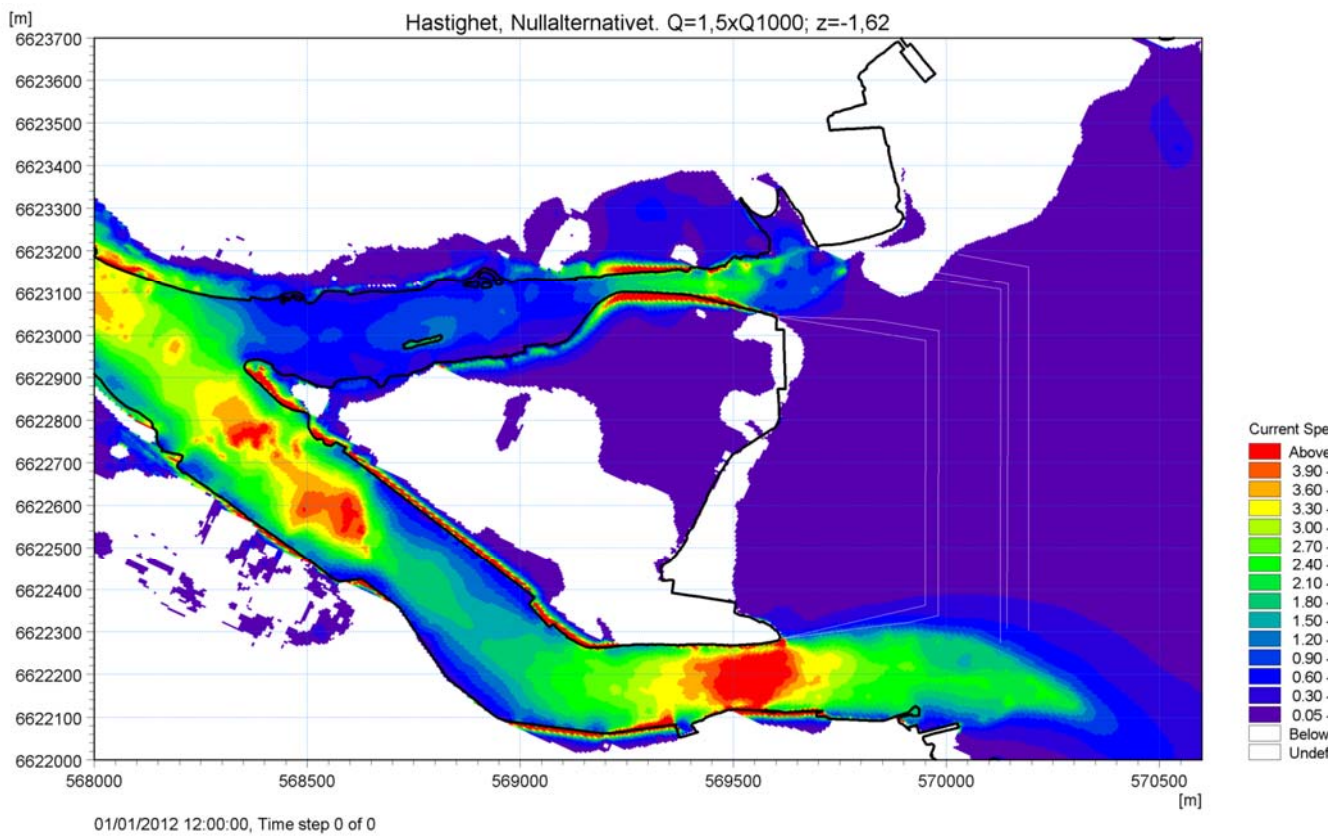
Figur 8 Økning av vannstand (m), Q200.



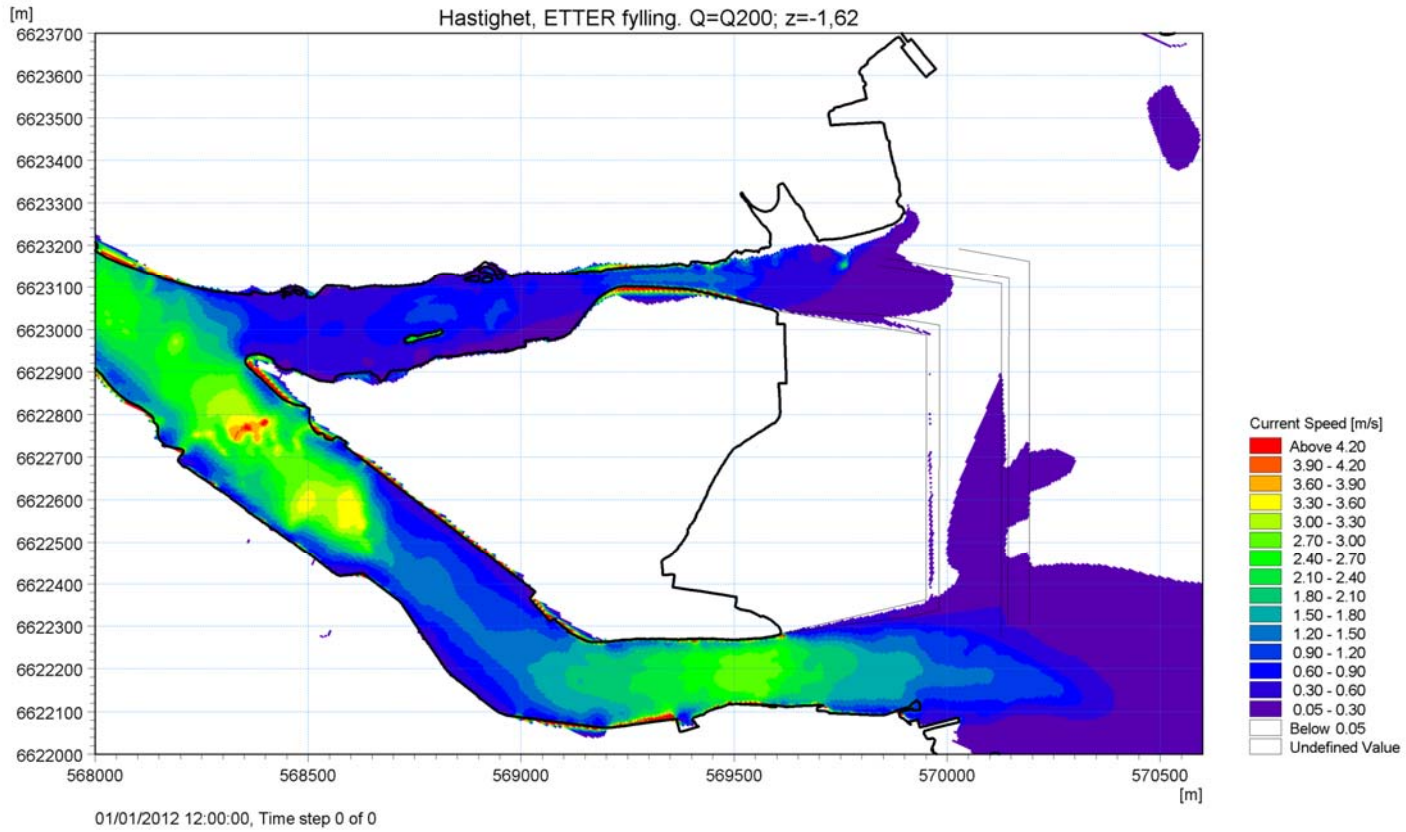
Figur 9 Økning av vannstand (m), Q= 1,5 x Q1000.



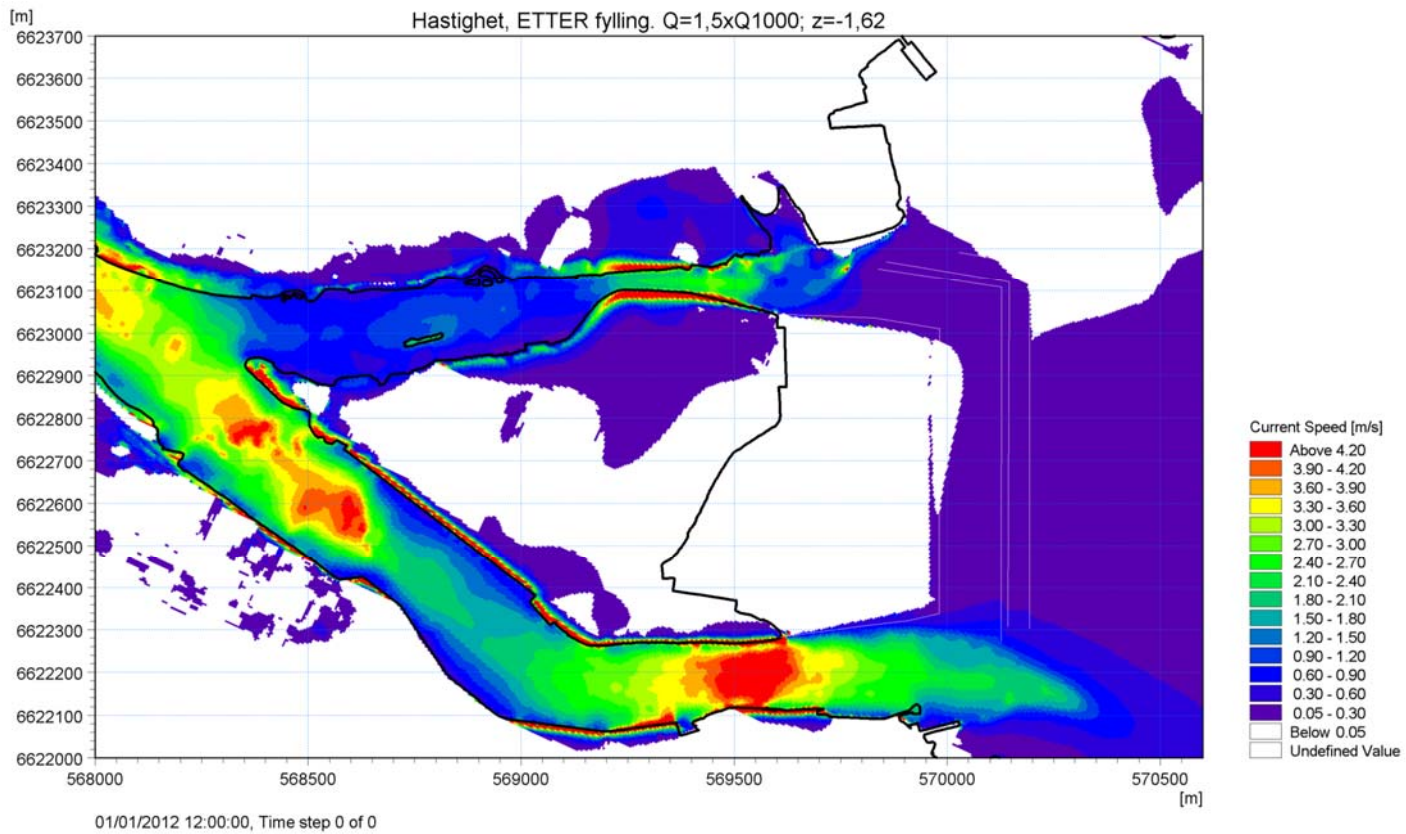
Figur 10 Vannhastighet, Nullalternativet, Q200.



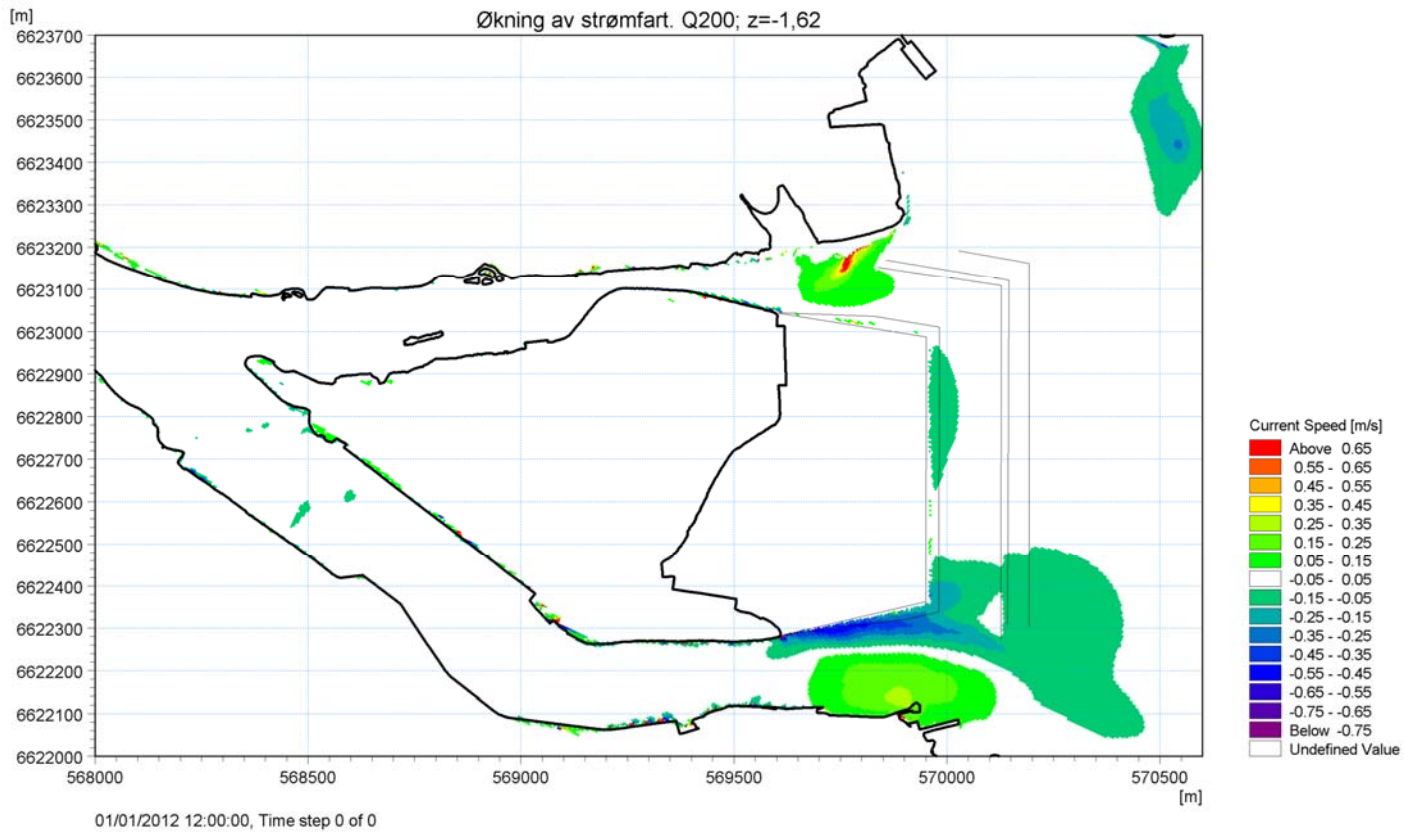
Figur 11 Vannhastighet, Nullalternativet, Q= 1,5 x Q1000.



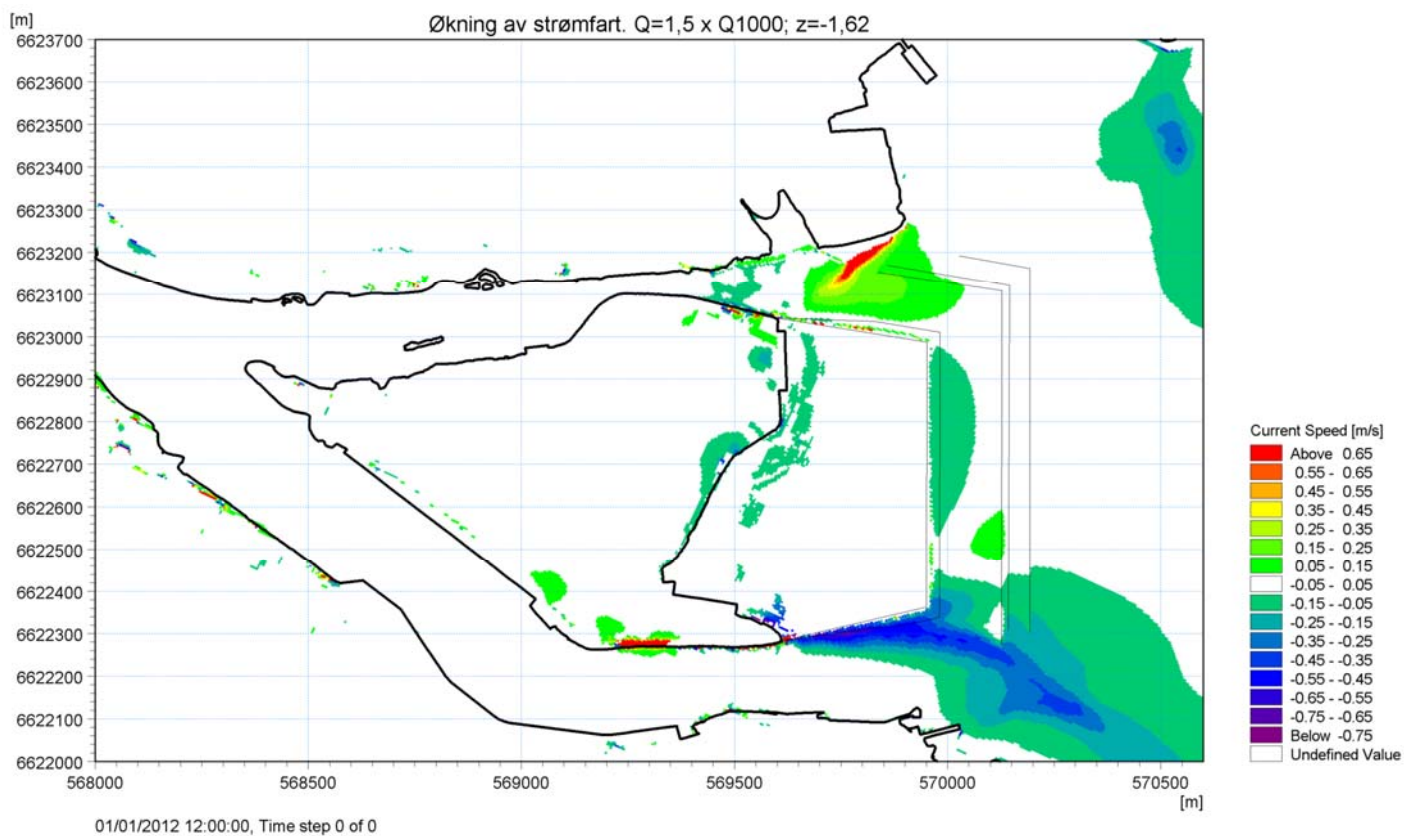
Figur 12 Vannhastighet, etter utfylling. Q200.



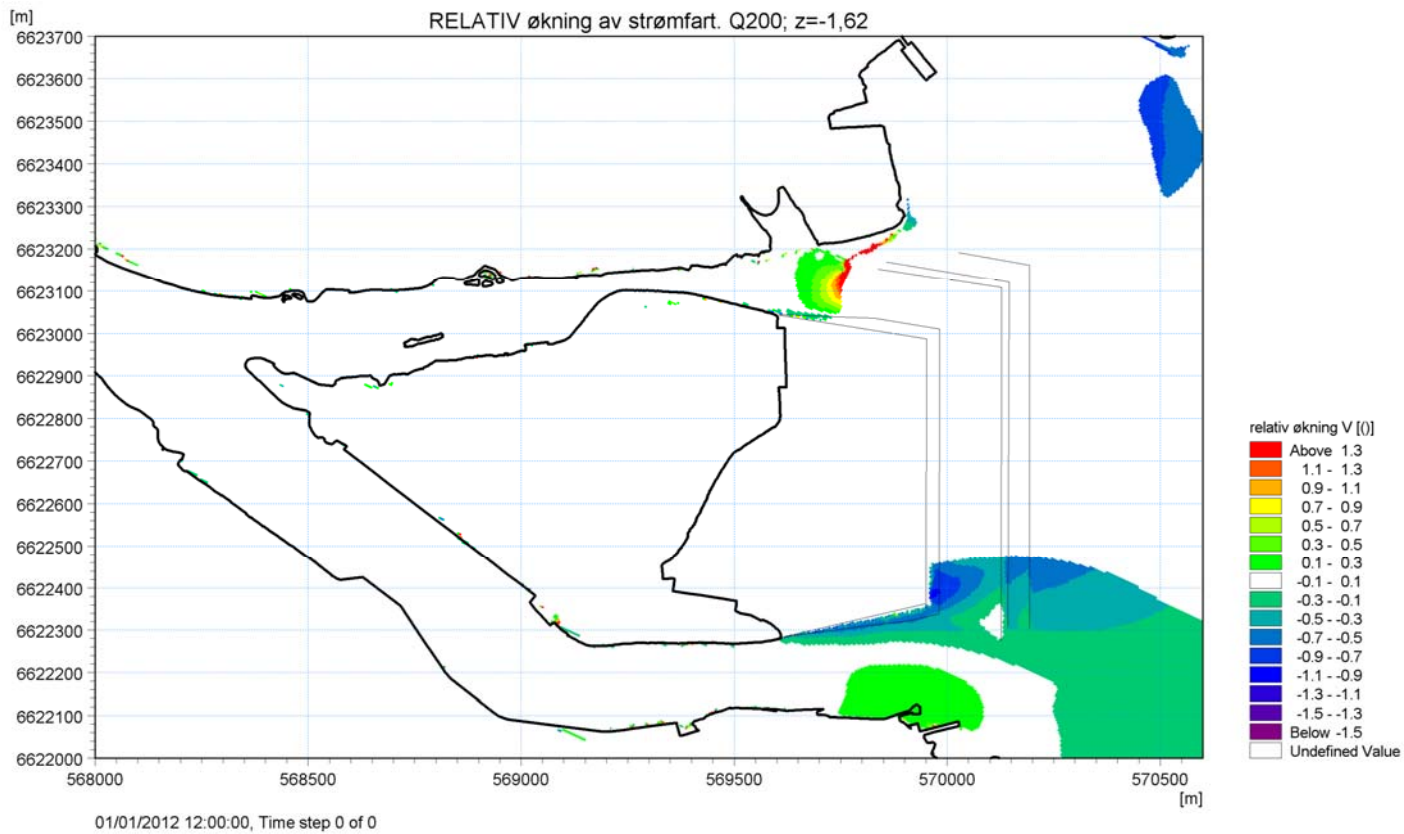
Figur 13 Vannhastighet, etter utfylling. Q=1,5 x Q1000.



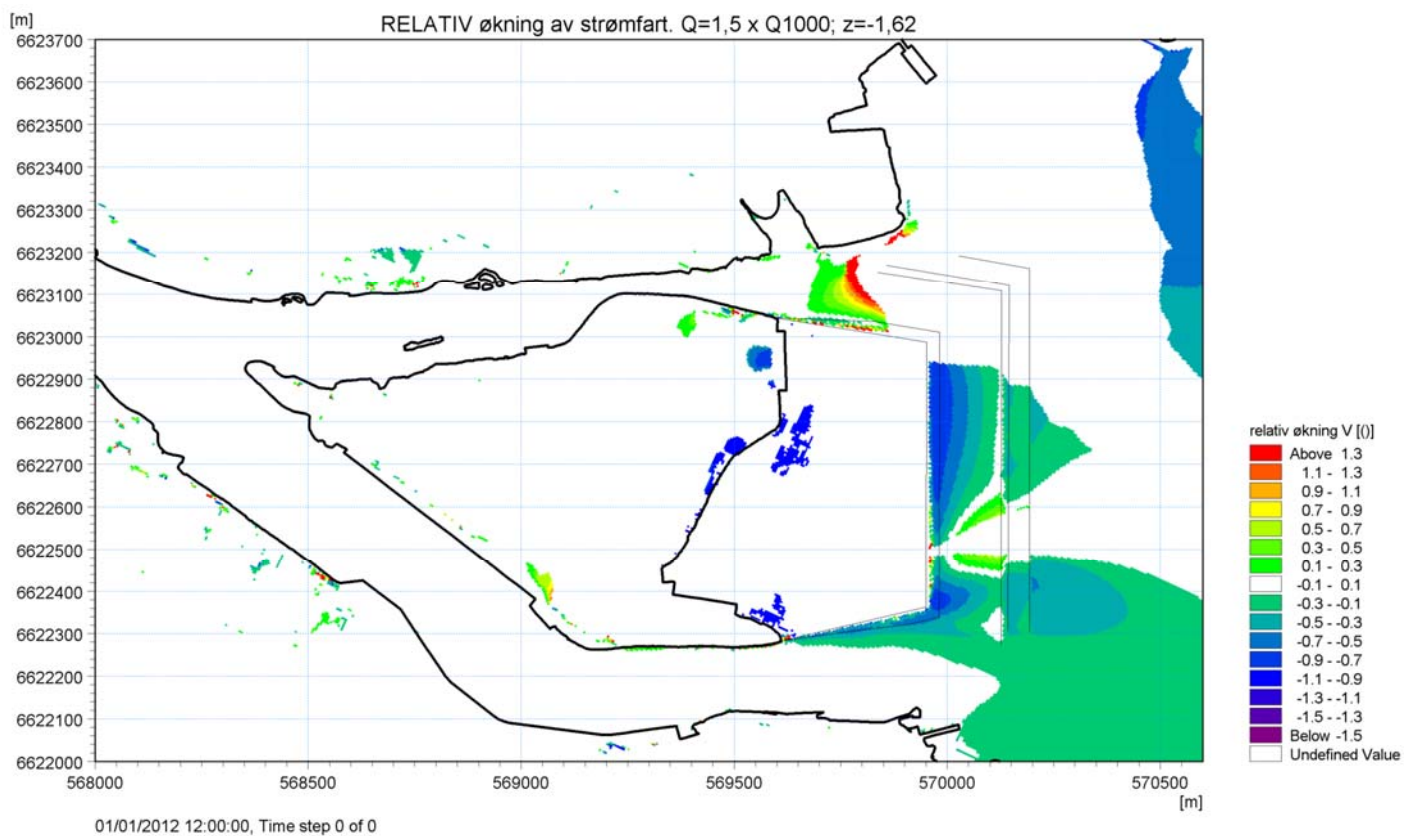
Figur 14 Økning av vannhastighet som følge av utfylling. Q200.



Figur 15 Økning av vannhastighet som følge av utfylling. Q = 1,5 x Q1000.



Figur 16 Relativ økning av vannhastighet som følge av utfylling. Q200. (1,0 = 100%)



Figur 17 Relativ økning av vannhastighet som følge av utfylling. Q=1,5 x Q1000. (1,0 = 100%)